

PAULA POSSAMAI SERGIPE

**Presença de rochas vulcânicas e crostas de ferro-manganês na porção norte do Rife
Cruzeiro do Sul na Elevação do Rio Grande**

São Paulo

2022

PAULA POSSAMAI SERGIPE

**Presença de rochas vulcânicas e crostas de ferro-manganês na porção norte do Rife
Cruzeiro do Sul na Elevação do Rio Grande**

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Geológica.

Orientador(a): Prof. Dr. Luigi Jovane

Coorientador(a): Profa. Dra. Yára Regina Marangoni

São Paulo

2022

SERGIPE, Paula Possamai. **Presença de rochas vulcânicas e crostas de ferro-manganês na porção norte do Rife Cruzeiro do Sul na Elevação do Rio Grande.** Dissertação (Mestrado) apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Geológica.

Aprovado em: ___ / ___ / ____.

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, durante o período de 1 de janeiro de 2020 a 31 de dezembro de 2021. Então, agradeço a CAPES pelo auxílio financeiro em apoio a esta pesquisa.

Agradeço imensamente aos meus pais, irmãos, familiares e amigos que estiveram sempre ao meu lado, nos momentos mais difíceis e nos de alegria, me dando carinho, apoio e suporte sem questionar. Agradeço também ao meu orientador Luigi Jovane e coorientadora Yára Regina Marangoni pela orientação, disponibilidade, atenção e ajuda durante este período do Programa de Mestrado do Instituto Oceanográfico (IOUSP), permitindo que este projeto de pesquisa acontecesse.

RESUMO

SERGIPE, Paula Possamai. **Presença de rochas vulcânicas e crostas de ferro-manganês na porção norte do Rifte Cruzeiro do Sul na Elevação do Rio Grande**. 2022. 61 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

A Elevação do Rio Grande é considerado um extenso alto estrutural, que vem sendo cada vez mais estudado, situado no Oceano Atlântico Sul. Seu potencial exploratório aumenta cada vez mais o interesse de se conhecer e entender sua gênese, dinâmica e tectônica regional, além de sua composição. Alguns estudos indicam a presença de rochas vulcânicas, de origem basáltica, associadas à sua origem vulcânica e outros já apontam a presença de crostas ricas em Ferro e Manganês na região, o que eleva o interesse científico, por parte de universidades, e econômico em relação às atividades mineradoras. O objetivo deste trabalho é determinar ocorrências de rochas vulcânicas e crostas de FeMn na porção norte do Rifte Cruzeiro do Sul, caracterizando a geologia nesta região e determinando seus padrões de distribuição. Para isso, foram utilizados dados de batimetria multifeixe, *sidescan sonar*, dragagens e magnetometria, de forma a integrar os resultados, trazendo uma interpretação mais íntegra da região e atribuindo uma maior confiabilidade nos resultados. No entanto, para que as crostas possuíssem uma característica magnética significativa, as mesmas teriam de conter um volume de magnetita grande o suficiente para influenciar no campo magnético e gerar anomalias magnéticas. Como as crostas se apresentaram com espessura mínima e, por vezes, erodida em superfície, este material pôde ser melhor associado aos dados batimétricos, de *sidescan sonar* e geológico. Por outro lado, a partir das interpretações das anomalias magnéticas e com base na aplicação dos filtros de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) e Redução ao Polo (RTP), este estudo permitiu sugerir locais onde as rochas basálticas poderiam ser encontradas, em concordância com a literatura, apresentando polarizações predominantemente normais e, eventualmente, reversas nas áreas A1 e A2. Estes resultados foram confirmados com os dados coletados pelas dragas. Além disso, foi possível destacar lineamentos magnéticos nestas áreas, vistas após a aplicação do filtro *Tilt Derivative*, com destaque àqueles localizados nas bordas do rifte. Estes definem uma zona de falhas normais. Durante a formação do Rifte, movimentos transcorrentes causaram intenso fraturamento que originou intrusão de magma na região das falhas e as mesmas puderam ser associadas às principais anomalias encontradas pelo ASA e é acordado que sua origem tenha relação com o processo de rifteamento e expansão do assoalho oceânico.

Palavras-chave: Elevação do Rio Grande. Métodos geofísicos. Rochas vulcânicas. Crostas de ferro-manganês.

ABSTRACT

SERGIPE, Paula Possamai. **Presença de rochas vulcânicas e crostas de ferro-mangânês na porção norte do Rifte Cruzeiro do Sul na Elevação do Rio Grande**. 2022. 61 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

The Rio Grande Rise is considered an extensive structural high, located in the South Atlantic Ocean, which has been studied more and more to extend its knowledge. The exploratory potential of RGR has been increasing the interest in getting to know more about this region and understand its genesis, dynamic, regional tectonic, and its composition. Some studies indicate the presence of volcanic rocks, mainly basaltic, related to its volcanic origin, and also the presence of Ferromanganese crusts, which boost the research and economic interest. The objective of this study is to determine the presence of volcanic rocks and FeMn crusts at the north portion of Cruzeiro do Sul Rift, characterizing the geology and showing the distribution pattern. To accomplish it, we used multibeam bathymetry, sidescan sonar, dredges, and magnetometric data to integrate and attribute better results. These crusts need a greater volume of magnetite to emphasize their magnetic field being able to influence the total magnetic field producing anomalies. As the crusts in this region of RGR have minimum thickness and, sometimes, it was eroded on the surface, this structure shows better results and visualization in bathymetry, sidescan sonar, and geology data. On the other hand, the magnetic anomalies interpretation and Analytic Signal Amplitude (ASA) filter and Reduction to Pole (RTP) filter application allow this study to suggest the basaltic rocks places, in concordance with the literature, showing predominantly normal polarization and, eventually, reversal ones in the A1 and A2 areas. These results agree with our dredge's data. Besides, it was possible to recognize and emphasize magnetic lineaments in these areas, after the Tilt Derivative filter application. The lineaments located at the Rift margin define a zone with a series of normal faults. During the Rift formation, transcurrent movements caused an intense fracturing which provided magma intrusion in the fault region. Therefore, the fault zone could be related to the main ASA anomalies as a function of the magma intrusion and the occurrence of the rifting process and seafloor spreading.

Keywords: Rio Grande Rise. Geophysical Methods. Volcanic rocks. Ferromanganese Crusts.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** Sequência estratigráfica da crosta encontrada na draga D07, presente na região de estudo (adaptada de Benites et al., 2020) 14
- Figura 2** Mapa ilustrativo dos tipos de substrato presentes na porção oeste da ERG. Em vermelho, está destacada a localização da área de estudo (Adaptado de Lisniewski et al., 2019) 15
- Figura 3** Reconstrução do caminho previsto de separação entre as placas africana e sul-americana sobre a pluma mantélica de Tristão da Cunha. ERG = Elevação do Rio Grande. As linhas ao longo das latitudes marcam as falhas transformantes e as linhas verticais a posição das reversões do campo magnético. Os números referem-se à marcação das reversões, conforme a carta de idade de reversão magnética (adaptado de O'Connor & Duncan, 1990) 18
- Figura 4** Mapa batimétrico da Elevação do Rio Grande, mostrando o Rifte Cruzeiro do Sul presente na margem sudeste do Brasil. Estão destacados os poços 516F e 21 e a dragagem de montes submarinos RC16; ERGO – Elevação do Rio Grande na porção oeste; ERGL – Elevação do Rio Grande na porção leste; RCSN – Rifte Cruzeiro do Sul na porção norte; RCSS – Rifte Cruzeiro do Sul na porção sul; JCC – Montes submarinos Jean Charcot (adaptado de Galvão & de Castro, 2017) 19
- Figura 5** Elementos do campo magnético da Terra, indicados pela declinação (D) e inclinação (I) magnética, direção do fluxo do campo magnético (F) e a componente horizontal (H). Modificado de Telford et al. (1990) 21
- Figura 6** Mapa batimétrico da região de estudo com relevo sombreado (azimute = 90°; ângulo vertical = 40°), situada no norte do Rifte Cruzeiro do Sul (RCSN), na porção oeste da Elevação do Rio Grande. Os dados de batimetria no RCSN foram coletados pelos ecobatímetros multifeixe dos cruzeiros realizados durante o projeto MarineE-tech, sendo o RGR-1 com *grid* de 25 m e o DY094 com *grid* de 15 m (Murton, 2018). O espaçamento entre as isóbatas é de 150 m. Ao fundo, a batimetria utilizada é do *grid* GEBCO_2020 com resolução espacial de 15 arco-segundo (GEBCO Compilation Group, 2020). Esse fundo de base batimétrica será mantido para as outras figuras 23
- Figura 7** Aquisição de dados do *Edgetech 4200 sidescan sonar*, destacando as 4 subáreas de estudo (“M”, “N”, “O” e “P”). A batimetria está com o relevo sombreado sobreposto (azimute = 90°; ângulo vertical = 40°) e situa-se na porção norte do Rifte Cruzeiro do Sul (RCSN) 25
- Figura 8** Mapas de relevo, obtidos através de missões realizadas pelo AUV que comportava o *sidescan sonar*, sendo: (a) área M; (b) área N; (c) área O; e (d) área P. O espaçamento entre linhas foi de 600m. A ocorrência do intervalo central da figura (d) foi resultado de um erro de *heading* (direção) ocasionado durante a coleta com AUV (11,3° anti-horário) que foi corrigido no pós-processamento 27
- Figura 9** Sítios das operações por dragagem que ocorreram durante os cruzeiros RGR-1 (amarelo) e DY094 (azul), onde foram encontradas rochas vulcânicas e crostas de FeMn. No RGR-1, estão destacadas as dragagens D05, D06, D07, D08, D10, D11, D12, D13, D15, D16 e D17, enquanto no DY094 estão as 10, 17, 22, 23, 34, 41, 46, 47, 52, 53, 56, 57, 62 e 63 29
- Figura 10** Amostras adquiridas durante o cruzeiro RGR-1: (a) Rocha basáltica coletada pela draga D16; (b) Crosta de FeMn coletada pela draga D07 (Jovane et al., 2019). Amostras adquiridas durante o cruzeiro DY094: (c) Rocha vulcânica coletada pela draga 63; e (d) crosta de fosforita coletada pela draga 56 (Murton, 2018) 30

Figura 11 Mapa da intensidade do campo magnético total, em nT, coletado na porção norte do Rifte Cruzeiro do Sul (RCSN), nas áreas A1 e A2, durante o cruzeiro RGR-1. As linhas de aquisição têm um espaçamento de, aproximadamente, 2 km e o tamanho da célula do *grid* é de 450 m 31

Figura 12 Mapas das anomalias magnéticas, em nT, coletado na porção norte do Rifte Cruzeiro do Sul (RCSN), durante o cruzeiro RGR-1, onde (a) apresenta a anomalia da área A1 e (b) apresenta a anomalia da área A2. O tamanho da célula do *grid* é de 450 m 32

Figura 13 Espectro de potência radial médio dos dados magnéticos para as áreas de estudo: (a) A1 e (b) A2. Este espectro foi utilizado para a aplicação do filtro gaussiano na obtenção do campo residual. O eixo horizontal é definido em termos do número de onda (lembrando que o mesmo representa o inverso do comprimento de onda) 34

Figura 14 Mapa de declividade da região de estudo, em graus, demarcando bem as escarpas de falha do rifte, onde a declividade chega a alcançar mais de 30° (cor preta). O topo do platô na margem nordeste do Rifte no mapa apresentou um lineamento bem demarcado, enquanto o topo do platô mais a sudoeste indicou estruturas circulares, indicadas pelo círculo em verde, e mais ao sul do mapa há um relevo mais rugoso, indicado pela seta em preto, que podem se associar a crostas de FeMn 37

Figura 15 Mapas da anomalia magnética residual, obtido após a aplicação do filtro gaussiano, nas áreas A1 e A2. Para a área A1 foi utilizado um desvio padrão de 0,07778 e para a área A2 foi utilizado um desvio padrão de 0,089. O tamanho da célula do *grid* é de 450 metros 38

Figura 16 Mapas dos resultados obtidos na área A1, após a aplicação dos filtros: (a) Gaussiano para obtenção da anomalia magnética residual, utilizando um desvio padrão de 0,07778; (b) Amplitude do Sinal Analítico (ASA); (c) Redução ao Polo (RTP); e (d) *Tilt Derivative* (TDR). Em todos os mapas, o tamanho da célula do *grid* é de 450 metros 40

Figura 17 Mapas dos resultados obtidos na área A2, após a aplicação dos filtros: (a) Gaussiano para obtenção da anomalia magnética residual, utilizando um desvio padrão de 0,089; (b) Amplitude do Sinal Analítico (ASA); (c) Redução ao Polo (RTP); e (d) *Tilt Derivative* (TDR). Em todos os mapas, o tamanho da célula do *grid* é de 450 metros 41

Figura 18 Seção sísmica bruta (a) e interpretada (b) da linha wsa-10, localizada na porção norte do Rifte Cruzeiro do Sul (c; linha destacada em verde). Adaptado de Praxedes et al. (2019) 42

Figura 19 Mapas interpretativos dos resultados obtidos pelos filtros ASA e TDR na região de estudo: (a) mostra o mapa batimétrico da área junto às principais anomalias encontradas, após a aplicação do filtro ASA (em verde); (b) é o resultado do filtro TDR aplicado sob o resultado da RTP em ambas as áreas A1 e A2, com os lineamentos traçados em azul; (c) é um zoom do mapa batimétrico, indicando os lineamentos presentes nas bordas do rifte (em azul) e possíveis anomalias do ASA (em verde) associadas aos mesmos; e (d) é um zoom do mapa de TDR, mostrando os lineamentos das bordas do rifte (em azul) e possíveis anomalias do ASA (em verde) associadas a eles 44

Figura 20 Mapa de anomalia Ar-livre apresentando os eventos tectônicos que originaram o Rifte Cruzeiro do Sul. ZF = Zona de Fratura. (a) e (b) apontam as principais inflexões do Rifte nos seus segmentos norte e sul, respectivamente. 1 indica o lineamento magnético que cruza a atual área de estudo com sua inflexão (Adaptado de Galvão & de Castro, 2017) 45

Figura 21 Mapas de integração dos resultados dos dados magnéticos com os caminhos percorridos pelas dragagens dos cruzeiros RGR-1 (em amarelo) e DY094 (em azul) das áreas

A1 e A2. Mapa da ASA (a) e mapa da RTP (b) da área A1 com a posição das dragas D05, D06, D07, D08, D10, D11, D12 e D13 em amarelo e 22, 23, 34, 35, 41, 46, 47, 52, 53, 56, e 57 em azul. Mapa da ASA (c) e mapa da RTP (d) da área A2 com as posições das dragas D15, D16 e D17 em amarelo e 10, 17, 62 e 63 em azul. Em todos os mapas, o tamanho da célula do grid é de 450 metros

47

Figura 22 Mapas de relevo, obtidos através de missões realizadas pelo AUV que comportava o *sidescan sonar*, junto às operações por dragagem dos cruzeiros RGR-1 (em amarelo) e DY094 (em azul): (a) área M com as dragas D11 e D12; (b) área N com as dragas D05, 22, 23, 34, 35 e 41; (c) área O com as dragas 52 e 53; e (d) área P com as dragas D16, D17, 10, 17, 62 e 63

49

Figura 23 Zoom das estruturas circulares (shapes gerados a partir da batimetria), em verde, coincidentes às depressões (baixo retroespalhamento) encontradas pelo resultado de *sidescan sonar*

50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASA	Amplitude do Sinal Analítico (Analytic Signal Amplitude)
AUV	Veículo Subaquático Autônomo (Autonomous Underwater Vehicle)
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCZ	Zona Clarion-Clipperton (Clarion-Clipperton Zone)
CFA	Fluorapatita de Carbonato
CMT	Campo Magnético Terrestre
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
ERG	Elevação do Rio Grande
ERGL	Elevação do Rio Grande Leste
ERGO	Elevação do Rio Grande Oeste
FeMn	Ferro-manganês
FFT	Transformada Rápida de Fourier (Fast Fourier Transform)
Fig.	Figura
IGRF	Campo de Referência Geomagnético Internacional (International Geomagnetic Reference Field)
LIPS	Grandes Províncias Ígneas (Large Igneous Provinces)
RCSN	Norte do Rife Cruzeiro do Sul
RCSS	Sul do Rife Cruzeiro do Sul
RTP	Redução ao Polo (Reduction To Pole)
TDR	Tilt Derivative
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	16
1.2 JUSTIFICATIVA	16
1.3 CONTEXTO GEOLÓGICO DA ELEVAÇÃO DO RIO GRANDE	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DOS MÉTODOS GEOFÍSICOS	20
2.1 BATIMETRIA	20
2.2 MAGNETOMETRIA	20
3 MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1 PROJETO MARINEE-TECH	22
3.2 DADOS BATIMÉTRICOS E ÁREA DE ESTUDO	22
3.3 AQUISIÇÃO DOS DADOS DE SIDESCAN SONAR	24
3.4 AQUISIÇÃO DOS DADOS GEOLÓGICOS POR OPERAÇÕES DE DRAGAGEM	28
3.5 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS MAGNÉTICOS	31
3.5.1 <i>Remoção de ruídos e spikes</i>	31
3.5.2 <i>Remoção do campo interno da Terra</i>	32
3.5.3 <i>Anomalia residual</i>	33
3.5.4 <i>Filtro Amplitude do Sinal Analítico (ASA)</i>	34
3.5.5 <i>Filtro de Redução ao Polo (RTP)</i>	35
3.5.6 <i>Filtro Tilt Derivative (TDR)</i>	35
4 RESULTADOS	36
4.1 DECLIVIDADE DA PORÇÃO NORTE DO RIFTE CRUZEIRO DO SUL (RCSN)	36
4.2 ANOMALIAS MAGNÉTICAS NA PORÇÃO NORTE DO RIFTE CRUZEIRO DO SUL (RCSN)	37
5 DISCUSSÃO	42
5.1 INVESTIGAÇÃO DA ZONA DE FALHAS NAS MARGENS DO RIFTE CRUZEIRO DO SUL	42
5.2 ROCHAS VULCÂNICAS E CROSTAS NA PORÇÃO NORTE DO RIFTE CRUZEIRO DO SUL (RCSN)	45
5.3 RELEVO E GEOLOGIA DA PORÇÃO NORTE DO RIFTE CRUZEIRO DO SUL (RCSN): INTEGRAÇÃO DOS DADOS DE DRAGA E SIDESCAN SONAR	48
6 CONCLUSÃO	51

REFERÊNCIAS	53
ANEXO A – LOGDATA DAS OPERAÇÕES POR DRAGAGEM DOS CRUZEIROS RGR-1 E DY094	57

1. INTRODUÇÃO

A Elevação do Rio Grande (ERG) é uma região ainda pouco explorada e conhecida. Até os tempos atuais, muito tem se discutido sobre a sua composição, origem e relação com a Cadeia Walvis, presente na posição análoga a leste no Oceano Atlântico Sul. Esta relação é importante para explicar as principais questões tectônicas, no que diz respeito ao cenário de formação do Atlântico Sul (Dietz & Holden, 1970; Morgan, 1971; Detrick et al., 1977; Gamboa & Rabinowitz, 1984; O'Connor & Duncan, 1990; Galvão & de Castro, 2017; Graça et al., 2018).

Apesar de extensas áreas de depósitos de crostas de ferro-manganês (FeMn) serem ainda inexploradas na ERG (Benites et al., 2020), muitas expedições têm sido organizadas e realizadas por algumas instituições de ensino e o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) desde 2009. O aumento do interesse pela pesquisa por parte de cientistas, visando expandir o conhecimento sobre a região, e econômico, para atividades mineradoras, são os grandes motivadores destas comissões, uma vez que as crostas de FeMn são também conhecidas como crostas ricas em cobalto (Hein et al., 2003; Lisniewski et al., 2019).

As crostas de FeMn são formadas pelo processo de hidrogenese: precipitação de oxihidróxido de ferro e óxido de manganês presentes na coluna d'água diretamente na superfície dura de elevações oceânicas, como guyots, montes submarinos ou cumes (Hein & Koschinsky, 2014). Estudar as crostas de FeMn é importante, uma vez que estas são capazes de fornecer uma variedade enorme de elementos químicos para o ambiente marinho em que se encontra (Hein et al., 2003). São estruturas eficientes em controlar as reações de potencial redox e apresentam o contexto histórico regional e global oceânico, além de conterem informações sobre as condições climáticas da região através de suas camadas estratigráficas (Hein et al., 2003 apud Hein & Koschinsky, 2014). Um exemplo de camada estratigráfica em crostas de FeMn pode ser encontrado no trabalho de Benites et al. (2020), no qual foi apresentada uma divisão da sequência estratigráfica de uma crosta, encontrada na ERG, com base nas idades de iniciação, de fosfatização, na mineralogia e textura (Fig. 1). Estes autores sugerem a presença de duas gerações de crostas originadas de acordo com diferentes processos: a primeira corresponde a maior parte da crosta, influenciada pela acumulação de material biogênico e presença de Fluorapatita de Carbonato (CFA) e a segunda cresceu após os eventos de fosfatização e diminuição de partículas biogênicas.

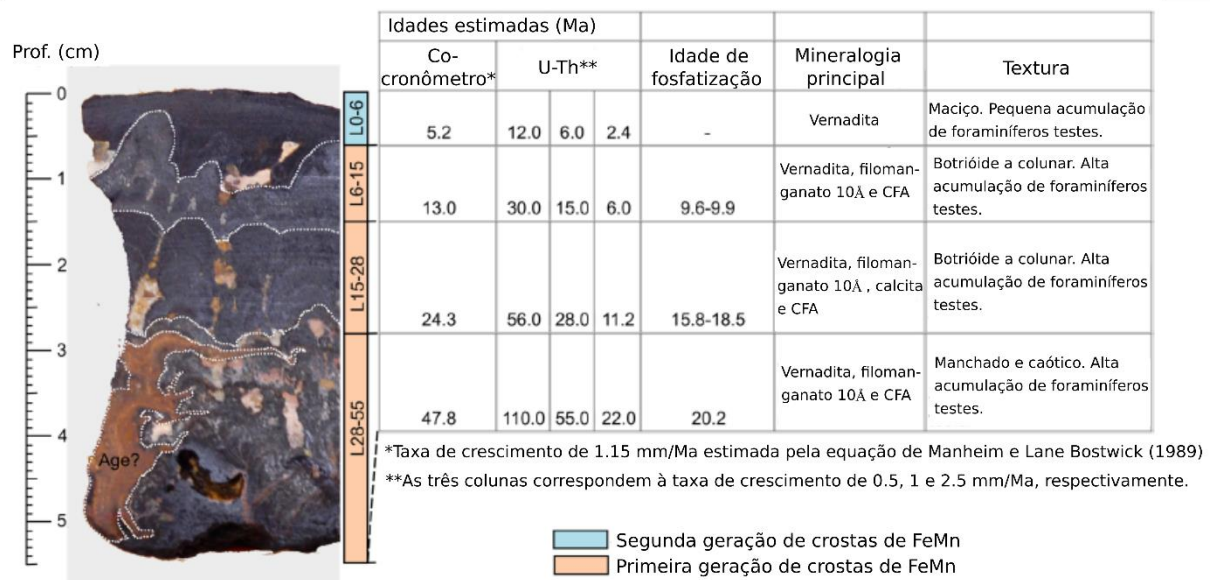


Figura 1: Sequência estratigráfica da crosta encontrada na draga D07, presente na região de estudo (adaptada de Benites et al.,2020).

Em um recente estudo, Lisniowski et al. (2019) utilizam um ecobatímetro multifeixe para identificar afloramentos rochosos e crostas de FeMn na ERG, através da declividade e intensidade do retroespalhamento. Para uma melhor visualização da distribuição destes materiais, estes autores produziram um modelo representativo dos tipos de substrato na superfície (Fig. 2), no qual ressaltou a presença de afloramentos (em azul), crostas (em cinza) e sedimentos pelágicos (em branco) na área de estudo deste projeto, destacada em vermelho, que será apresentada mais adiante. Com base neste modelo, foram identificadas crostas de FeMn e afloramentos rochosos na área de estudo, a partir do conjunto de dados disponíveis para estudo, sendo estes últimos relacionados, mais adiante, às rochas vulcânicas. A intenção desta associação é de caracterizar o relevo e geologia da porção norte do Rifte Cruzeiro do Sul (RCSN).

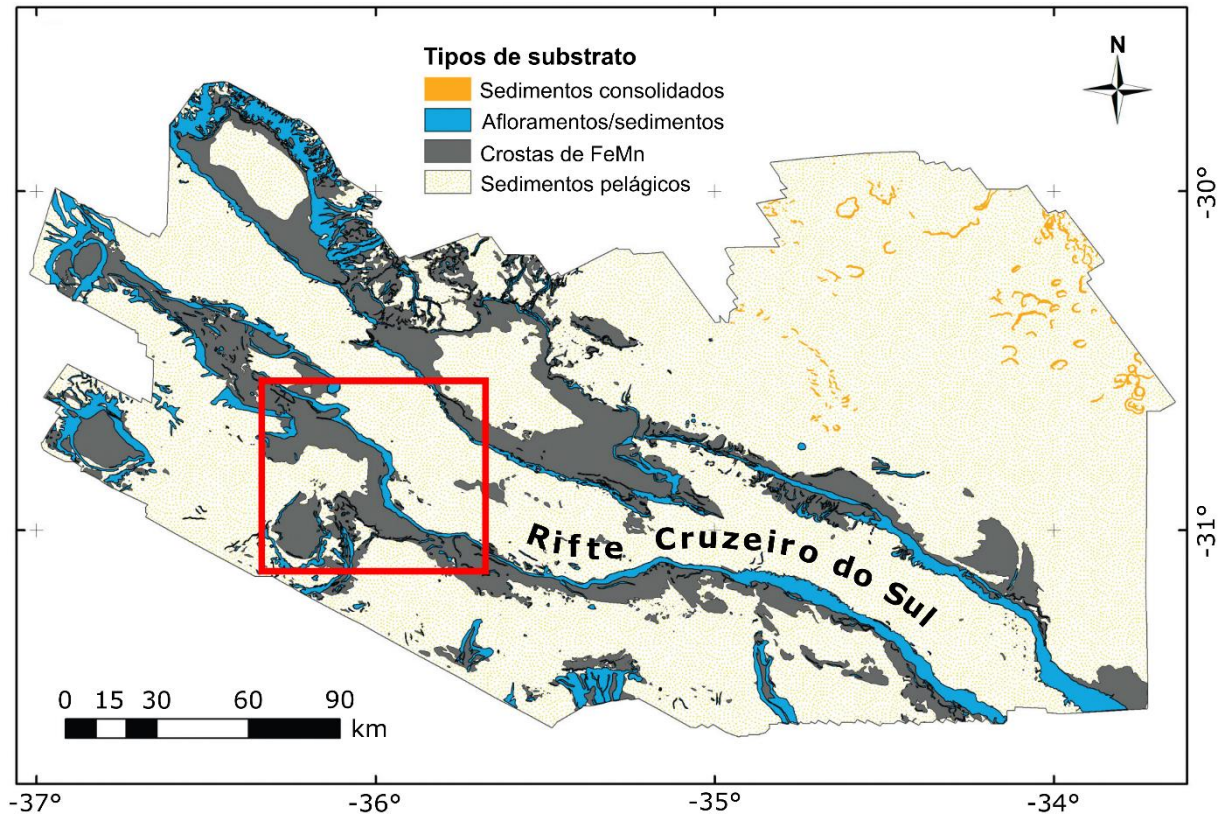


Figura 2: Mapa ilustrativo dos tipos de substrato presentes na porção oeste da ERG. Em vermelho, está destacada a localização da área de estudo (Adaptado de Lisniowski et al., 2019).

Na sua maior parte, rochas basálticas foram encontradas na porção oeste da ERG (Jovane et al., 2019). Estas rochas possuem uma considerável susceptibilidade magnética, podendo variar entre 0 e 200×10^3 SI devido ao seu conteúdo mineralógico (Telford et al., 1990), com possibilidade de adquirirem forte magnetização remanente. Já as crostas de FeMn, também podem conter propriedades magnéticas remanentes, se seu conteúdo de magnetita for significativo, como já encontrada em nódulos de FeMn em um estudo na zona do Clarion-Clipperton (CCZ) no Oceano Pacífico oriental (Hassan et al., 2020) e no leste do Oceano Pacífico, ocasionadas por bactérias magnetotáticas (Dong et al., 2016). Portanto, os dados magnéticos marinhos podem contribuir para identificar a presença destes materiais, porém as crostas na porção oeste da ERG são de espessura bem fina ou se encontravam bastante erodidas em superfície (Praxedes et al., 2019). Por conta disso, as crostas puderam ser melhor identificadas através de dados geológicos, de batimetria multifeixe e de retroespalhamento obtidos por *sidescan sonar*, enquanto as rochas vulcânicas foram determinadas a partir da integração entre dados de magnetometria marinha e a geologia da região.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é determinar possíveis locais com presença de rochas vulcânicas e crostas de FeMn na porção RCSN. Para cumprir este objetivo, foram utilizados dados: (1) batimétricos, adquiridos por ecobatímetro multifeixe; (2) de *sidescan sonar*, adquirido por missões realizadas pelo Autosub6000 (AUV); (3) litológicos, coletados por operações de dragagem; e (4) magnetométricos marinhos. A partir da integração dos resultados, foi caracterizada a geologia da área de estudo, localizando os alvos e determinando seu padrão de distribuição.

1.2 Justificativa

Existem alguns pontos relevantes em relação ao conjunto de dados utilizados que motivam a execução deste trabalho e que podem trazer benefícios à comunidade acadêmica, uma vez que ainda há pouco conhecimento sobre a caracterização geológica da ERG. Dentre eles, destaca-se o fato dos dados de *sidescan sonar* terem sido adquiridos por um AUV, o qual se manteve a uma altura média de 90 metros acima do assoalho oceânico. Isto pode trazer informações mais detalhadas do relevo nesta região, podendo auxiliar em pesquisas e atividades futuras relacionadas à exploração mineral e aprofundar o que já pode ser encontrado na literatura sobre a ERG. É fundamental enfatizar a importância da compilação de diferentes métodos (geológicos, acústicos e potenciais) como ferramentas investigativas da geologia marinha, podendo contribuir para uma definição mais íntegra de estruturas e materiais geológicos presentes. Esta integração é essencial, pois os dados sísmicos não estão disponíveis em grande parte da Elevação (Constantino et al., 2017), uma vez que há um refletor composto por calcário de idade Santoniana que mascara o embasamento acústico abaixo (Kumar, 1979; Montserrat et al., 2019).

1.3 Contexto geológico da Elevação do Rio Grande

Considerada uma das principais províncias ígneas (LIPs) do oceano Atlântico Sul, a ERG está localizada a 1.500 km da costa do Brasil, entre as latitudes 28°S e 34°S e as longitudes 28°O e 40°O (Gamboa & Rabinowitz, 1984; Galvão & de Castro, 2017). Considerada como um extenso alto morfológico, pode alcançar 3.500 m de altura em relação ao assoalho oceânico, servindo como uma grande barreira para o transporte de sedimentos. Este transporte ocorre através dos canais de Vema e Hunter, entre as bacias oceânicas do Brasil e da Argentina, as

quais se encontram a norte e a sul da Elevação, respectivamente (Kaji et al., 2011; Galvão & de Castro, 2017) (Figs. 3 e 4).

A ERG pode ser caracterizada como uma cadeia assísmica semicircular, uma vez que representa um alto estrutural não associado à ocorrência de terremotos (Gamboa & Rabinowitz, 1984; Galvão & de Castro, 2017). Por isso, acredita-se que sua história geológica difere da crosta oceânica adjacente e, neste caso, poderia corresponder a uma porção isolada de crosta continental, desprendida de sua matriz, com predomínio de rochas basálticas (Gamboa & Rabinowitz, 1984). Esta hipótese foi, primeiramente, mencionada por Detrick et al. (1977) que, com dados paleobatimétricos obtidos em perfurações, sugeriram que a ERG esteve inicialmente em superfície, ou próximo ao nível do mar, e, posteriormente, sofreu o processo de subsidência no ritmo equivalente à crosta oceânica normal.

Sob outro ponto de vista, Dietz & Holden (1970) e Morgan (1971) sugerem que a ERG, junto com a Cadeia Walvis, se originou durante o processo de rifteamento do supercontinente Gondwana que formou o Oceano Atlântico. De acordo com O'Connor & Duncan (1990), o complexo sistema vulcânico Elevação do Rio Grande – Cadeia Walvis se formou devido à influência da pluma mantélica Tristão da Cunha, localizada no eixo de expansão da Cadeia Mesoatlântica, associada ao processo de abertura do oceano e geração de suas bacias (Fig. 3). A ERG foi originada durante os períodos Santoniano – Coniaciano na região central deste eixo, abaixo do nível do mar, e teve uma movimentação para oeste deste eixo, a medida em que as placas sul-americana e africana se separavam (Fig. 3), seguida pelo preenchimento de sedimentação pelágica, revelada por interpretações sísmicas (Gamboa & Rabinowitz, 1984).

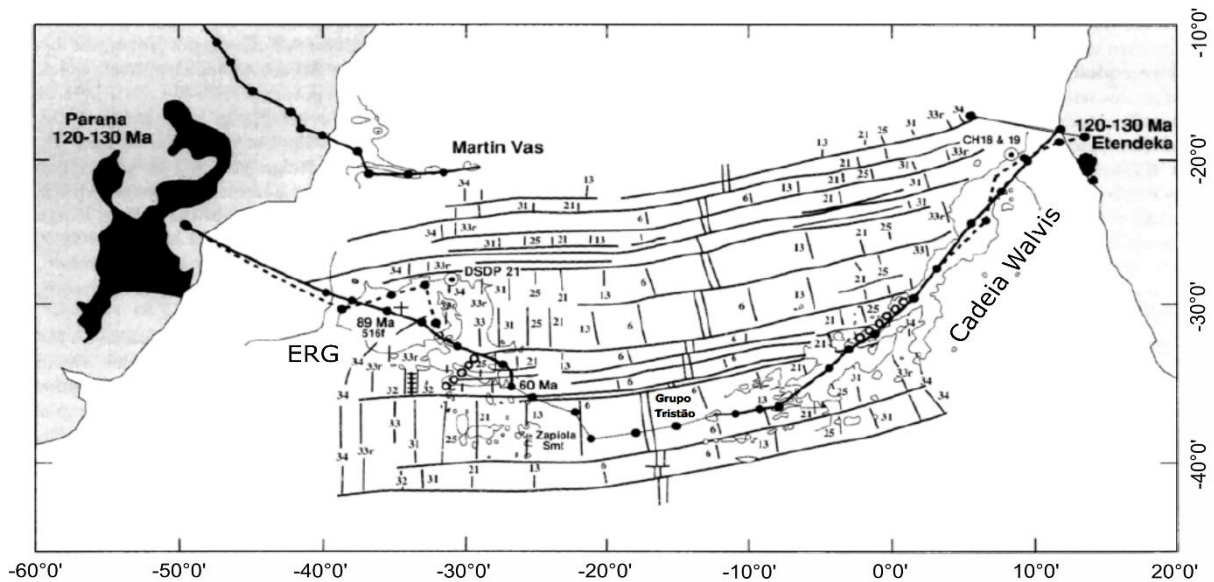


Figura 3: Reconstrução do caminho previsto de separação entre as placas africana e sul-americana sobre a pluma mantélica de Tristão da Cunha. ERG = Elevação do Rio Grande. As linhas ao longo das latitudes marcam as falhas transformantes e as linhas verticais a posição das reversões do campo magnético. Os números referem-se à marcação das reversões, conforme a carta de idade de reversão magnética (adaptado de O'Connor & Duncan, 1990).

Gamboa & Rabinowitz (1984) dividem a ERG em duas unidades estruturais principais: a porção oeste (ERGO) e a porção leste (ERGL) (Fig. 4). A ERGO possui um formato aproximadamente elíptico e se originou a partir do intenso vulcanismo ocorrido durante o Eoceno (< 50 Ma), elevando a crosta oceânica e gerando inúmeras ilhas oceânicas. A ERGL apresenta uma direção de tendência norte-sul e acredita-se que esta porção seja uma manifestação da migração da crista da cordilheira, cercada por zonas de fraturas. A crista da ERGO possui uma profundidade média de 2.000 m, com *guyots* e montes submarinos que atingem, atualmente, profundidades menores que 700 m abaixo do nível do mar (Gamboa & Rabinowitz, 1984; Ussami et al., 2013). Ambas as porções são interceptadas por um rifte principal de direção NO-SE que apresenta de 10 a 20 km de largura, 1.500 km de extensão, alcançando mais de 1.000 m de profundidade em relação ao topo da elevação e envolto por montes submarinos e *guyots* (Mohriak et al., 2010; Galvão & de Castro, 2017).

O Rifte Cruzeiro do Sul (Fig. 4) pode estar relacionado a eventos magmático-tectônicos que influenciaram no desenvolvimento da ERG (Galvão & de Castro, 2017; De Souza et al., 1993 apud Galvão & de Castro, 2017). Devido a movimentos transcorrentes, o rifte pode ser dividido em duas regiões: o segmento norte (RCSN), que cruza a porção noroeste da ERG, e o segmento sul (RCSS), localizado ao sul da porção leste da ERG (Galvão & de Castro, 2017).

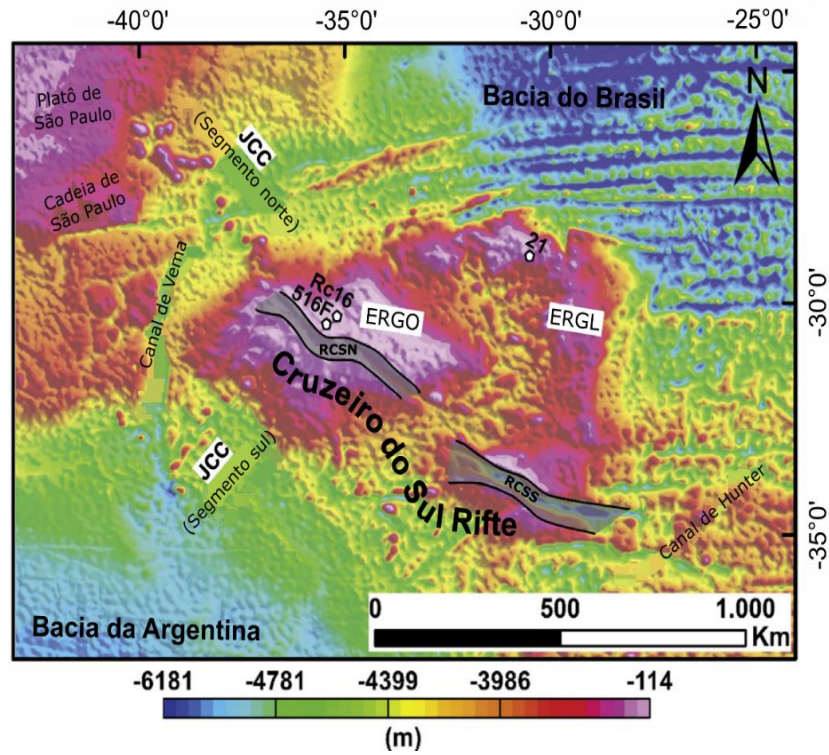


Figura 4: Mapa batimétrico da Elevação do Rio Grande, mostrando o Rifte Cruzeiro do Sul presente na margem sudeste do Brasil. Estão destacados os poços 516F e 21 e a dragagem de montes submarinos RC16; ERGO – Elevação do Rio Grande na porção oeste; ERGL – Elevação do Rio Grande na porção leste; RCSN – Rifte Cruzeiro do Sul na porção norte; RCSS – Rifte Cruzeiro do Sul na porção sul; JCC – Montes submarinos Jean Charcot (adaptado de Galvão & de Castro, 2017).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DOS MÉTODOS GEOFÍSICOS

2.1 Batimetria

De acordo com Beyer (2006) e Micallef (2011), os sistemas hidroacústicos são capazes de mapear a superfície do fundo oceânico, através de equipamentos como o ecobatímetro multifeixe e *sidescan sonar*. Esse mapeamento pode fornecer informações estratigráficas de detalhe, morfológicas e estruturais do sedimento na superfície. Segundo estes autores, o sistema de ecobatímetro multifeixe tem como característica mais relevante a precisão na medição da profundidade, que é obtida através do tempo que o pulso acústico transmitido leva para atravessar a coluna d'água, em diferentes direções, e retornar da interface atingida no fundo para o receptor acústico. A frequência deste pulso é inversamente proporcional à penetração dele nos sedimentos. Portanto, as feições do assoalho oceânico e suas características dependem da frequência utilizada. Quanto maior a frequência, menor a penetração e, por consequência, a resolução espacial pode variar (Beyer, 2006). Desta forma, este dado é capaz de fornecer um mapa em detalhe da superfície batimétrica de uma determinada região, enfatizando processos que ocorrem no assoalho oceânico e a presença de possíveis canais, montes submarinos, *guyots*, declividades, dentre outros (Beyer, 2006).

Os dados de *sidescan sonar* são apresentados com sinais de alto e baixo retroespalhamento, gerando informações a respeito do relevo e geologia da região (Murton, 2018). Regiões com alto retroespalhamento, ou alto albedo (reflexão), representam um assoalho duro, podendo estar relacionado a crostas de FeMn, enquanto regiões com baixo retroespalhamento, ou baixo albedo, indicam uma sedimentação mais macia.

2.2 Magnetometria

A Terra possui um campo magnético (CMT) formado a partir de movimentos das correntes de convecção do núcleo externo fluido (liga metálica de Fe-Ni e outros elementos mais leves). Este campo tem característica, aproximadamente, dipolar na superfície terrestre e é capaz de interagir com as rochas da crosta, induzindo magnetizações com diferentes intensidades e direções, dependendo de sua composição mineralógica, história geológica e latitude. Além disso, o CMT é continuamente modificado pela interação com os plasmas oriundos de ventos solares (Telford et al., 1990; Reeves, 2005; Lowrie, 2007). O campo magnético é vetorial e suas componentes são descritas pela inclinação e declinação, com relação às coordenadas geográficas e magnitude (Fig. 5), onde a inclinação magnética (I) é o ângulo

formado entre a direção do campo magnético (F) e a componente horizontal (H), enquanto a declinação (D) é o ângulo entre o norte geográfico e o norte magnético (Telford et al., 1990).

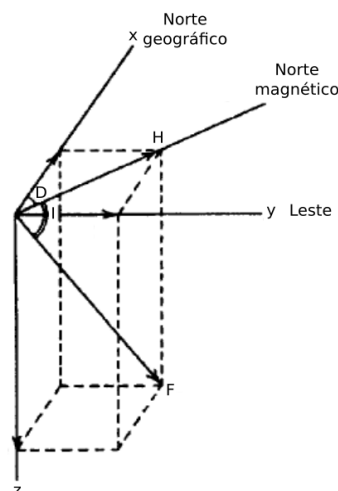


Figura 5: Elementos do campo magnético da Terra, indicados pela declinação (D) e inclinação (I) magnética, direção do fluxo do campo magnético (F) e a componente horizontal (H). Modificado de Telford et al. (1990).

A crosta terrestre apresenta fontes magnéticas que geram anomalias de magnitude inferior ao campo magnético total. Isolar as anomalias crustais implica em remover o campo de origem interna, definido pelo modelo *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF), atualizado a cada cinco anos (Reeves, 2005).

Os mapas das anomalias magnéticas são importantes para a definição e localização de estruturas com diferentes características litológicas e deformações. De acordo com Dunlop & Ozdemir (2001), muitas vezes, a interpretação destas anomalias dependerá se a magnetização é induzida ou se foi adquirida pela rocha de um campo magnético pretérito, a magnetização remanente. Esta última é muito importante para a datação do assoalho oceânico, através da carta magnetoestratigráfica. Esta carta é definida pelo estudo dos registros de reversões do campo geomagnético, via estudos paleomagnéticos de rochas com idade geocronológica bem determinada. Esse tipo de estudo é uma das bases da teoria da tectônica de placas.

Como todo campo potencial, o campo magnético da Terra, estudado pela magnetometria, é caracterizado pela sua forte ambiguidade na definição das profundidades das fontes e pelo princípio da superposição, o que gera uma dificuldade em distinguir sinais provenientes de diferentes fontes magnéticas (Nabighian, 1972; Mio et al., 2005). Portanto, para parametrizar as anomalias magnéticas e produzir resultados com uma maior coerência e confiabilidade, é necessário a integração com dados geológicos diretos ou de outros métodos que priorizem a obtenção de contrastes na direção vertical, como a sísmica, por exemplo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, há uma breve descrição sobre o Projeto MarineE-tech, com informações sobre: a aquisição dos dados de batimetria, *sidescan sonar*, geologia e magnetometria que ocorreram durante os cruzeiros deste projeto. Também são descritos o processamento e os filtros utilizados neste último método.

3.1 Projeto MarineE-tech

O projeto MarineE-tech teve início com o cruzeiro RGR-1, a bordo do navio Alpha Crucis entre os dias 28 de janeiro e 19 de fevereiro de 2018. De acordo com Jovane et al. (2019), no RGR-1 foram realizados levantamentos oceanográficos, geofísicos, hidrográficos, geológicos e ecológicos, caracterizando-o como um cruzeiro multidisciplinar, cuja intenção foi expandir e complementar estudos anteriores da ERG, além de proporcionar informações elementares para possíveis atividades mineradoras. Dentre os dados adquiridos neste cruzeiro, destacam-se: (1) os batimétricos; (2) os magnetométricos; e (3) os geológicos obtidos por operações de dragagem (Jovane et al., 2019), uma vez que fazem parte dos dados do presente trabalho.

Este projeto continuou com o cruzeiro DY094, entre 20 de outubro e 6 de novembro de 2018, a bordo do navio Royal Research (RRS) *Discovery*. O RRS *Discovery* navegou 1.400 km para leste do Brasil, até a Elevação do Rio Grande, com o objetivo de investigar potenciais depósitos rochosos, ricos em cobalto, para possíveis atividades de mineração no fundo oceânico (Murton, 2018). Neste segundo cruzeiro, dentre os dados coletados, enfatizam-se os dados de batimetria, *sidescan sonar* e geologia que foram utilizados para esta pesquisa.

3.2 Dados batimétricos e área de estudo

No cruzeiro RGR-1, a batimetria foi adquirida pelo ecobatímetro multifeixe Reson 7160 (Teledyne) com uma frequência de 41 kHz (Jovane et al., 2019). As linhas de aquisição foram planejadas com orientação NE-SO, perpendicular ao declive principal, e variaram o espaçamento de 1 a 2,1 km para potencializar a cobertura do feixe, ao mesmo tempo em que a sua largura era modificada para manter uma boa qualidade dos dados.

Durante o cruzeiro DY094, a aquisição dos dados batimétricos foi realizada pelo ecobatímetro multifeixe Simrad EM122, situada no casco do navio. Esta coleta foi realizada com uma frequência de 10 kHz, enquanto o navio estava em modo estacionário ou com movimentos lentos. Segundo Murton (2018), estes dados já se encontram processados e

interpolados, através dos *softwares* CARIS HIPS e SIPS (v9.1.8), utilizando a configuração definida do próprio navio e os novos valores de calibração.

As batimetrias adquiridas em ambos os cruzeiros do projeto MarineE-tech são complementares. A Figura 6 mostra a área de estudo, situada na porção norte do Rifte Cruzeiro do Sul (RCSN), localizado na porção oeste da ERG. Para ressaltar a geomorfologia da região, foi sobreposto à mesma o relevo sombreado, usando o programa QGIS (v3.10) com azimute (ângulo horizontal) de 90° e o ângulo vertical de 40° . Esta região tem uma área de, aproximadamente, 2.000 km^2 e apresenta uma variação batimétrica entre 750 e 1.500 m, de acordo com suas isóbatas.

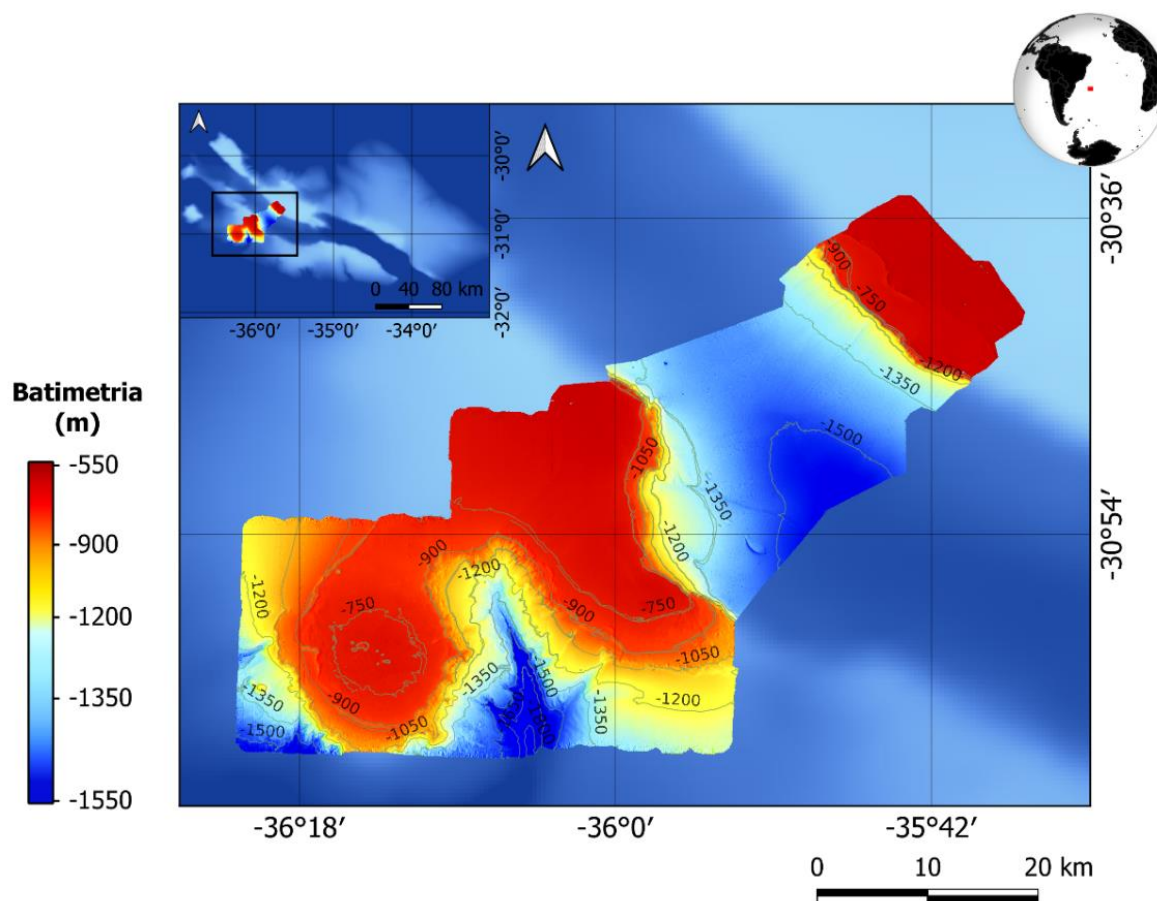


Figura 6: Mapa batimétrico da região de estudo com relevo sombreado (azimute = 90° ; ângulo vertical = 40°), situada no norte do Rifte Cruzeiro do Sul (RCSN), na porção oeste da Elevação do Rio Grande. Os dados de batimetria no RCSN foram coletados pelos ecobatímetros multifeixe dos cruzeiros realizados durante o projeto MarineE-tech, sendo o RGR-1 com *grid* de 25 m e o DY094 com *grid* de 15 m (Murton, 2018). O espaçamento entre as isóbatas é de 150 m. Ao fundo, a batimetria utilizada é do grid GEBCO_2020 com resolução espacial de 15 arco-segundo (GEBCO Compilation Group, 2020). Esse fundo de base batimétrica será mantido para as outras figuras.

A partir do mapa de batimetria da região de estudo (Fig. 6), foi extraída a declividade do local, através do comando de análise de raster chamado *slope*, disponível no QGIS (v.3.10.2). Este comando calcula o ângulo de inclinação com a horizontal obtendo assim a declividade da região.

3.3 Aquisição dos dados de *sidescan sonar*

Segundo Murton (2018), a aquisição dos dados de *sidescan sonar* para mapear o fundo oceânico foi feita em cinco missões realizadas utilizando um Veículo Autônomo Sub-Aquático (*Autonomous Underwater Vehicle – AUV*) nas subáreas “M”, “N”, “O” e “P” (Fig. 7), com o equipamento *Edgetech 4200 sidescan sonar* usando uma frequência de 100 kHz. O espaçamento entre linhas foi de, aproximadamente, 600 m e a altitude média de 90 m com relação ao assoalho oceânico. Os dados disponibilizados já se encontravam processados pelo *software* SonarWhiz™ (v7). Para este trabalho, estes dados foram utilizados na integração com os resultados geológicos obtidos pelas operações de dragagem. Essa associação foi feita com o objetivo de apurar o detalhamento da geologia marinha na região, trazendo ainda mais informações sobre o relevo.

As missões do AUV eram programadas usando o sistema ArcMap GIS e com trajeto analisado considerando o comprimento do percurso e a variação da batimetria no local, para que a altitude do equipamento ficasse a cerca de 90 m acima do assoalho oceânico. Murton (2018) indica que a bateria do AUV tem vida autônoma de 24 horas e, portanto, as missões foram planejadas para este período de duração, sem considerar as 12 horas de bateria reserva. Este equipamento apresenta uma velocidade no solo de 1,2 m/s (4,3 km/h) e a distância percorrida na missão depende do tempo de subida e descida (30 minutos a cada 1000 metros de descida ou subida) para alcançar a profundidade de pesquisa, mais 45 minutos para a calibração do equipamento e 15 minutos para o início da navegação. Assim, a fórmula da distância percorrida pelo AUV na missão pode ser dada pela Equação 1:

$$\text{Distância percorrida (km)} = \left[24 - \left(\frac{P_i}{2000} \right) - \left(\frac{P_f}{2000} \right) - 0,75 - 0,25 \right] \times 4,3 \quad (1)$$

sendo P_i a profundidade inicial e P_f a profundidade final no percurso do AUV (Murton, 2018).

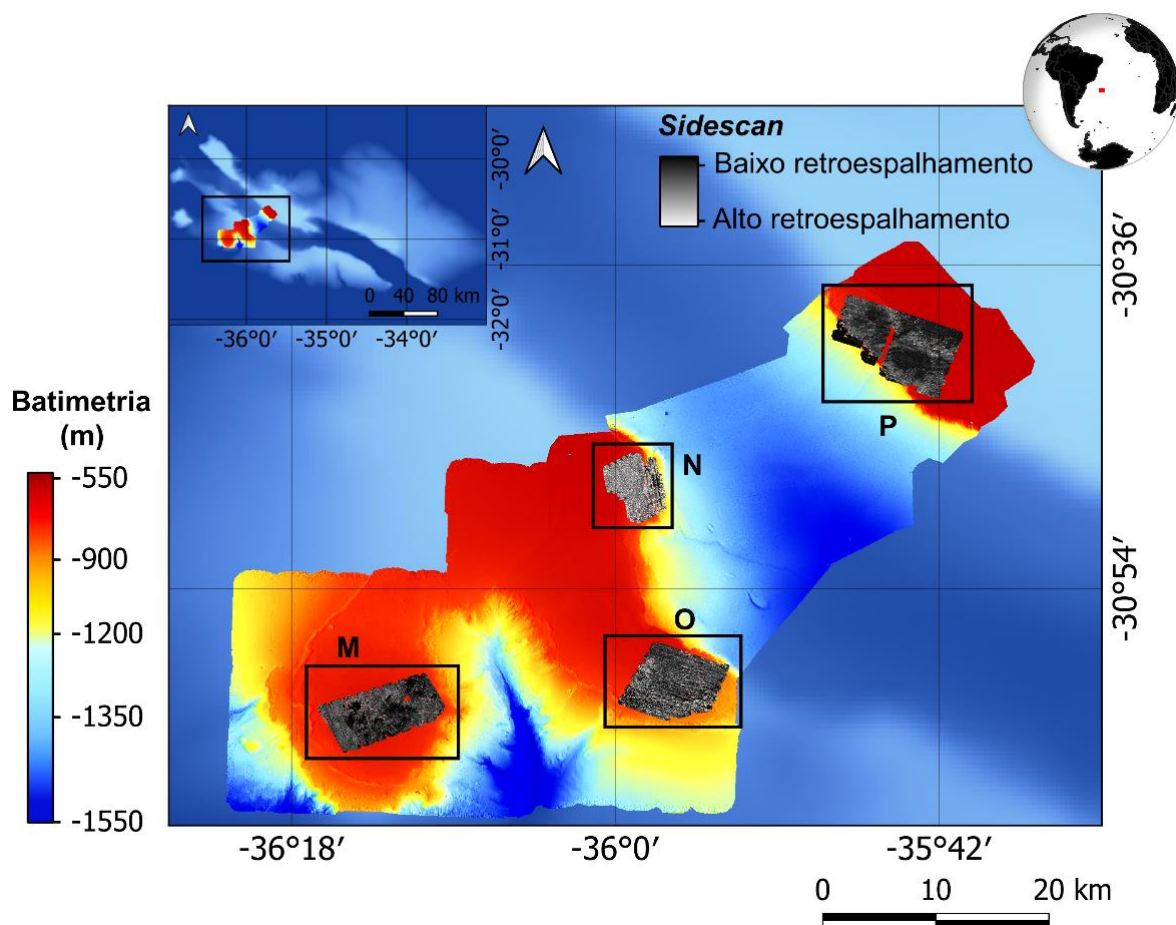


Figura 7: Aquisição de dados do *Edgetech 4200 sidescan sonar*, destacando as 4 subáreas de estudo (“M”, “N”, “O” e “P”). A batimetria está com o relevo sombreado sobreposto (azimute = 90°; ângulo vertical = 40°) e situa-se na porção norte do Rifte Cruzeiro do Sul (RCSN).

Os sinais altos e baixos do retroespalhamento geram informações a respeito do relevo e geologia da região, onde regiões com alto retroespalhamento (mais claras), ou alto albedo (reflexão), representam um assoalho duro, podendo estar relacionado a crostas de FeMn, e regiões com baixo retroespalhamento (mais escuras), ou baixo albedo, indicam uma sedimentação mais macia (Murton, 2018). A Figura 8 mostra os resultados adquiridos durante as missões do AUV, que comportava um *sidescan sonar*. A subárea **M** foi caracterizada pela presença de um assoalho duro composto por sedimento calcáreo e seixos no topo e seu baixo albedo foi relacionado às depressões causadas pela acumulação de cascalho carbonático, havendo também a presença de seixos e fragmentos de crostas no fundo destas depressões (Fig. 8a; Murton, 2018). Em relação a subárea **N**, este autor afirma ser uma região de albedo mais homogêneo e sua composição é, predominantemente, de calcáreo duro com uma fina cobertura (na faixa de centímetros) de sedimentos macios (Fig. 8b). A subárea **O** foi caracterizada pela

presença de estriações de direção noroeste-sudeste na sua porção oeste e fraturas de direção leste-oeste na porção sudeste (Fig. 8c). Por conta disso, o assoalho nesta região foi definido como heterogêneo, consistindo em calcáreo duro com algumas partes de crostas finas (Murton, 2018). Por fim, a subárea **P** evidenciou um caráter fraturado de alto albedo, no qual há um alto albedo próximo à escarpa do rifte, seguido por um baixo albedo na área central entre a escarpa e o terraço superior, subsequente ao alto albedo no terraço superior que reduz sua intensidade para norte (Fig. 8d). Além disso, é possível observar longas estriações paralelas (~3 km) no quadrante sudoeste, estriações mais escuras de 20-100 m de largura e até 3 km de extensão com direção L-O na porção sudeste. O terreno irregular neste local pode indicar a presença de crostas de FeMn, principalmente, próximo a região central mais clara (Fig. 8d; Murton, 2018).

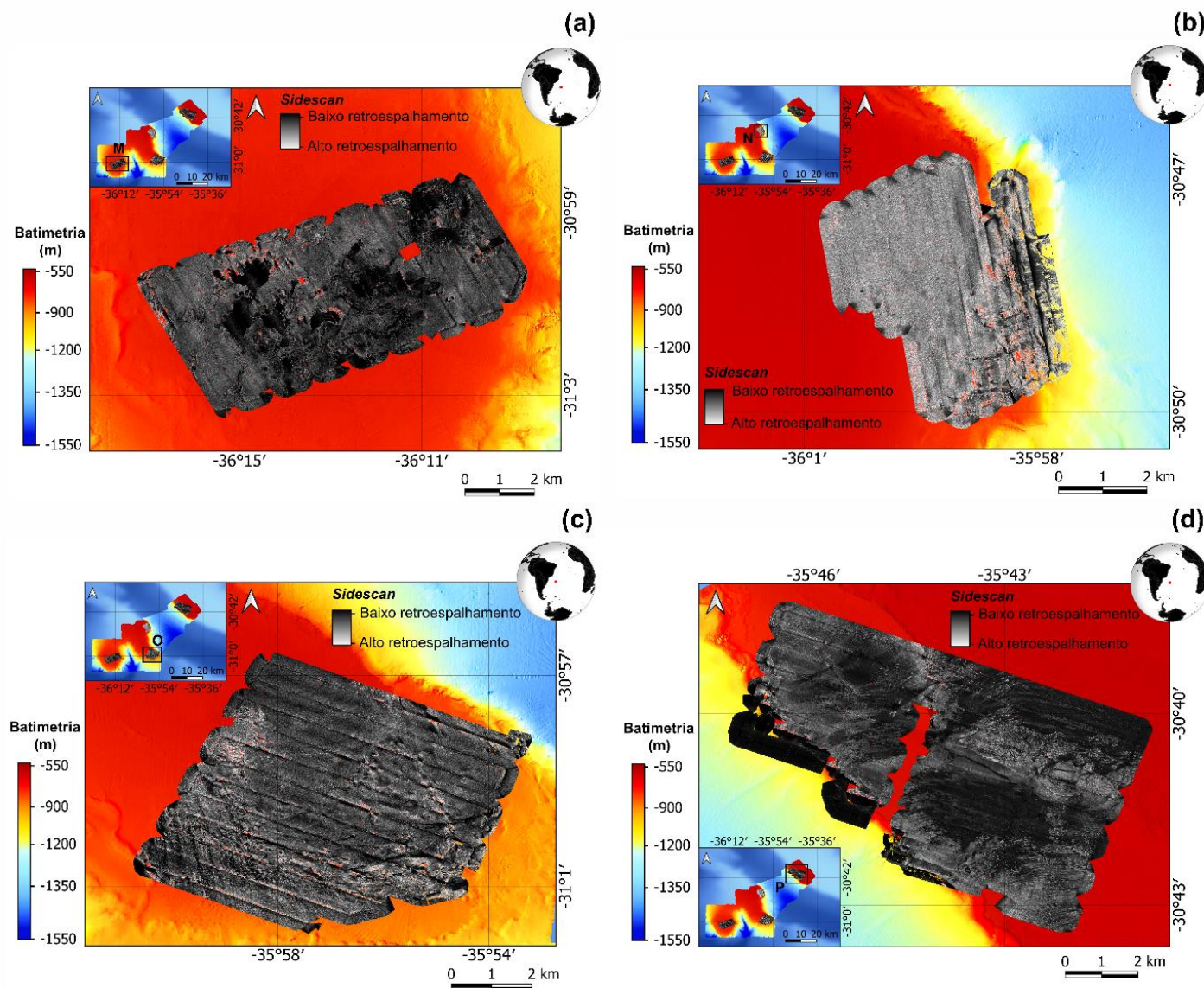


Figura 8: Mapas de relevo, obtidos através de missões realizadas pelo AUV que comportava o *sidescan sonar*, sendo: (a) área M; (b) área N; (c) área O; e (d) área P. O espaçamento entre linhas foi de 600m. A ocorrência do intervalo central da figura (d) foi resultado de um erro de *heading* (direção) ocasionado durante a coleta com AUV (11,3° anti-horário) que foi corrigido no pós-processamento.

3.4 Aquisição dos dados geológicos por operações de dragagem

Durante os cruzeiros RGR-1 e DY094, a aquisição dos dados geológicos na porção RCSN foi realizada através de operações por dragagem, coletando material em subsuperfície. De acordo com Jovane et al. (2019), foram utilizados três tipos de dragas no RGR-1, porém este estudo foca nas amostragens de 5 a 17, nas quais foi utilizada uma draga retangular com 0,5 m de largura e 2,5 cm de malhagem. Estes autores afirmam que a draga retangular foi preferida, uma vez que mantém um amplo contato com o fundo, podendo preservar superfícies planares. A draga foi disposta na água até atingir o fundo e, em seguida, foi adicionado de 30 a 50% do cabo que a prendia enquanto o navio estava estacionário. A draga coletou o material de subsuperfície, mantendo uma velocidade de 1 a 2 nós, seguindo as linhas de aquisição planejadas. Neste cruzeiro foram coletadas mais de 300 amostras de rochas, incluindo rochas vulcânicas e as crostas ricas em FeMn.

De maneira semelhante, durante o cruzeiro DY094 foram adquiridas mais de 320 amostras geológicas em 23 operações por dragagem (Murton, 2018). Segundo este autor, foi utilizada uma draga quadrada com uma largura de, aproximadamente, 1 m e um saco de cota de malha. Como locais de interesse para a coleta deu-se preferência a ambientes com contraste na resposta geofísica e variações batimétricas, obtidas durante a aquisição. Esta escolha teve por objetivo estudar como esses ambientes afetariam a formação, ocorrência e morfologia das crostas de FeMn e a preservação do fundo oceânico. Este autor ainda afirma que para atingir os propósitos desta coleta foram planejados trajetos que variaram entre 0,6 e 1,2 km para as operações de dragagem nesta região. Dentre os materiais adquiridos neste cruzeiro, também se destacaram a presença de rochas vulcânicas e crostas de FeMn.

Assim, foram selecionados os sítios de dragagem que encontraram rochas vulcânicas e crostas de FeMn durante os cruzeiros do projeto MarineE-tech (RGR-1 e DY094; Fig. 9), conforme mostra o *logdata* das operações no ANEXO A. No RGR-1, os principais tipos de rocha recuperados foram basaltos e crostas de FeMn e fosforitas. Várias das dragas encontraram calcário e poucas obtiveram seixos de rochas metamórficas, siltito, piroclástico e serpentinito (Jovane et al., 2019). Além disso, a superfície de quase todas as rochas se encontrava polida ou alisada, o que indica que condições oceanográficas (alta intensidade de correntes, por exemplo) dificultariam a preservação de óxido de FeMn e contribuiriam para a erosão da superfície.

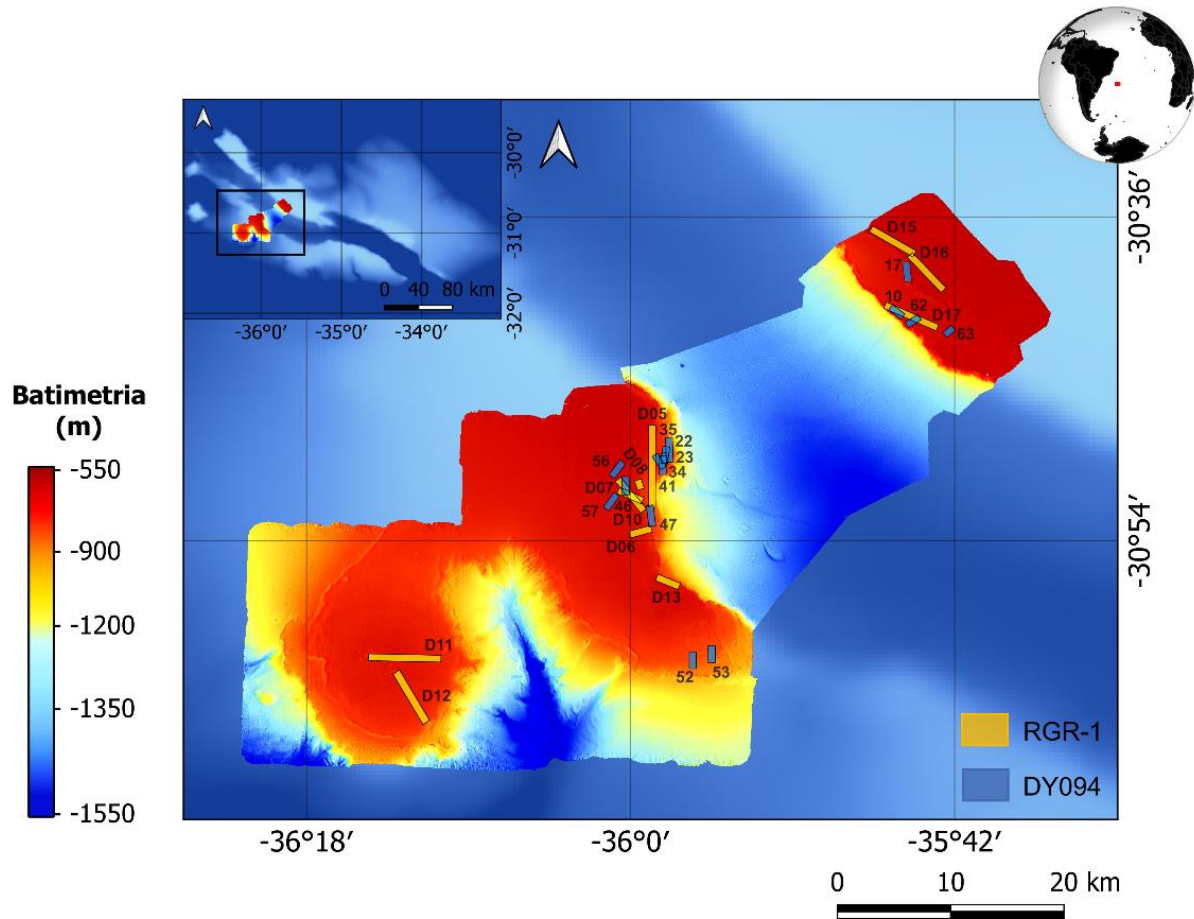


Figura 9: Sítios das operações por dragagem que ocorreram durante os cruzeiros RGR-1 (amarelo) e DY094 (azul), onde foram encontradas rochas vulcânicas e crostas de FeMn. No RGR-1, estão destacadas as dragagens D05, D06, D07, D08, D10, D11, D12, D13, D15, D16 e D17, enquanto no DY094 estão as 10, 17, 22, 23, 34, 41, 46, 47, 52, 53, 56, 57, 62 e 63.

Jovane et al. (2019) relatam a existência de rochas vulcânicas, principalmente, nas margens do Rife Cruzeiro do Sul (dragas D05, D06, D08, D13, D15, D16 e D17 indicadas pelos segmentos em amarelo na Figura 9). Benites et al. (2020) apontam que algumas das dragas também recuperaram crostas de FeMn no topo do platô (dragas D05, D06, D07, D10, D11, D15 e D17 indicadas pelos segmentos em amarelo na Figura 9). Estes autores descrevem estas crostas com uma coloração escura em quase toda a sua espessura, podendo apresentar estruturas verticais. A draga D12 encontrou crostas de fosforita, muito comum durante o cruzeiro DY094. As dragas 10, 22, 23, 34, 41, 46, 52, 53, 56, 57, 62 e 63 recuperaram crostas de fosforita, enquanto as dragas 10, 17, 22, 23, 35, 47, 53 e 63 encontraram rochas vulcânicas, todas executadas no DY094 (Murton, 2018). Este autor ainda salienta que estas rochas variaram em seu aspecto, porém a composição predominante é de massa compacta afanítica de granulação

fina com fenocristais de feldspato de plagioclásio e piroxênio, que variam no grau de maturação e alteração.

Amostras encontradas nos cruzeiros RGR-1 e DY094 estão apresentadas na Figura 10, destacando a presença de rochas vulcânicas (Figs. 10a e 10c) e crostas de FeMn e fosforita (Figs. 10b e 10d, respectivamente). Esta última também é uma crosta muito visada para atividades mineradoras e importante de ser mencionada. As rochas vulcânicas possuem matriz afanítica de granulação fina com fenocristais de plagioclásio e piroxênio, enquanto as crostas possuem uma coloração mais escura e, muitas vezes, se apresentam bem polidas (Murton, 2018).

É importante salientar que estes dados serviram de base para interpretação dos sinais magnéticos, principalmente, quando o local constituía de rochas vulcânicas. Por outro lado, os locais que apresentavam as crostas de FeMn foram mais bem observados nos resultados de *sidescan sonar*, contribuindo para o detalhamento do relevo da região de estudo.

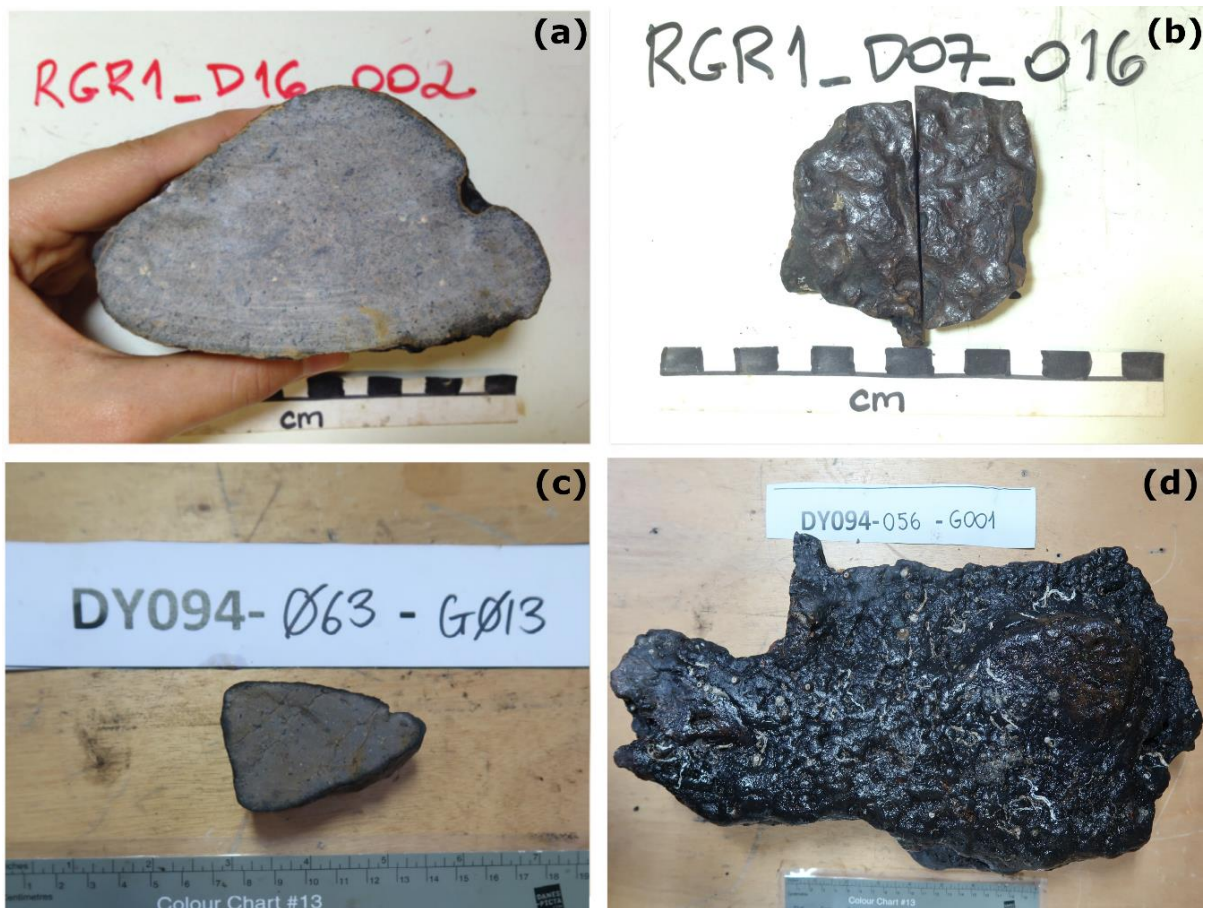


Figura 10: Amostras adquiridas durante o cruzeiro RGR-1: (a) Rocha basáltica coletada pela draga D16; (b) Crosta de FeMn coletada pela draga D07 (Jovane et al., 2019). Amostras adquiridas durante o cruzeiro DY094: (c) Rocha basáltica coletada pela draga 63; e (d) crosta de fosforita coletada pela draga 56 (Murton, 2018).

3.5 Aquisição e processamento dos dados magnéticos

De acordo com Jovane et al. (2019), os dados magnetométricos foram coletados com o magnetômetro SeaSPY2 durante o cruzeiro RGR-1. O equipamento, da *Marine Magnetics*, se trata de um magnetômetro de precessão de prótons com sistema *Overhauser*, com resolução de 0,001 nT e acurácia absoluta de 0,1 nT. Durante a aquisição, o mesmo foi rebocado a uma distância de 250 m para evitar ruídos gerados pelo próprio navio. A Figura 11 mostra o mapa da intensidade do campo magnético total medido nas áreas A1 e A2. As linhas de aquisição têm espaçamento de cerca de 2 km.

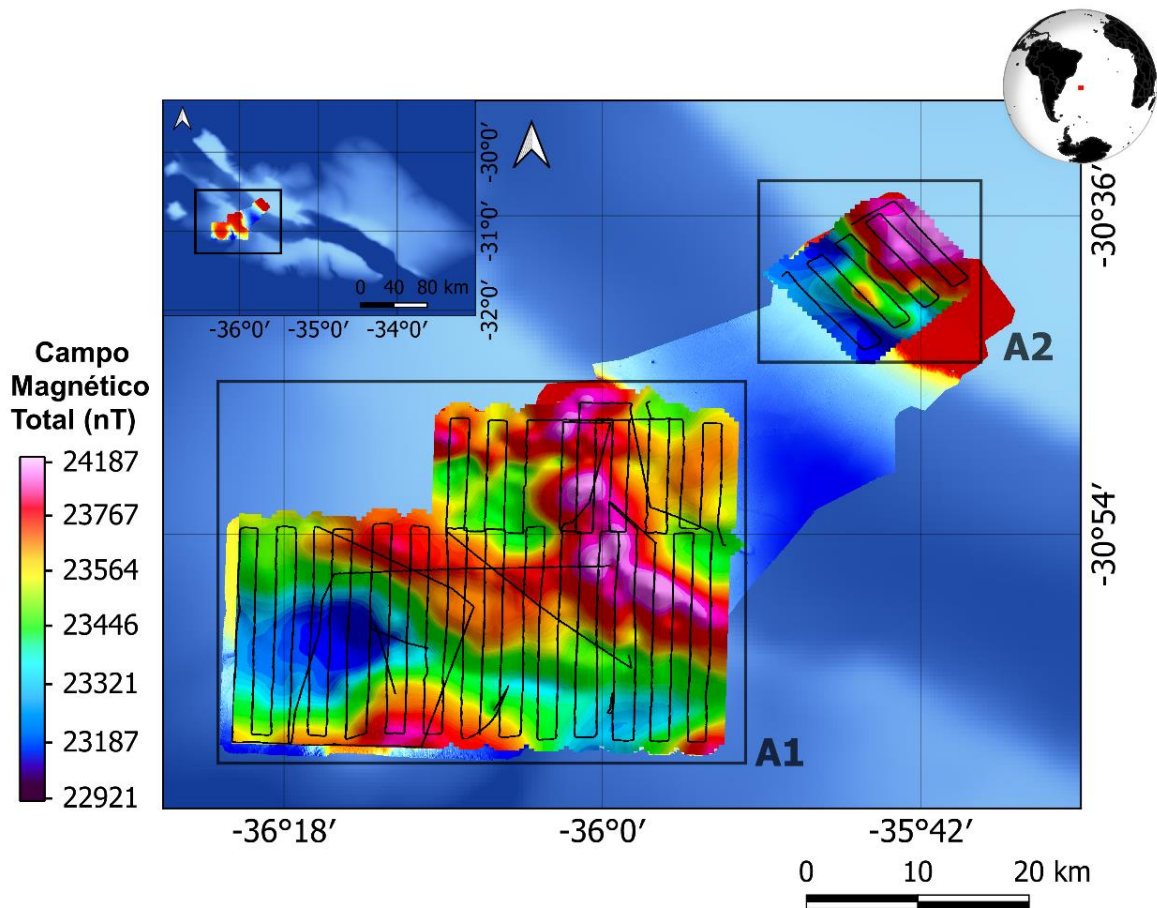


Figura 11: Mapa da intensidade do campo magnético total, em nT, coletado na porção norte do Rife Cruzeiro do Sul (RCSN), nas áreas A1 e A2, durante o cruzeiro RGR-1. As linhas de aquisição têm um espaçamento de, aproximadamente, 2 km e o tamanho da célula do *grid* é de 450 m.

3.5.1 Remoção de ruídos e spikes

Os dados magnetométricos foram tratados no *software* Seequent *Oasis Montaj* (v8.4). No geral, os dados coletados pelo SeaSPY2 têm boa qualidade, estando a grande maioria com

uma qualidade de sinal acima de 79%. No entanto, havia alguns dados espúrios, ou *spikes*, cuja qualidade se encontrava inferior a 79%. Como estes ruídos são provocados pela própria embarcação e pelo magnetômetro, foram removidos através do filtro não linear com uma largura de 3 e tolerância de 5. Este filtro analisa os dados adquiridos de 5 em 5 fiduciais, avalia se houve alguma mudança brusca e, se sim, remove o ponto e substitui por um valor com base nos dados vizinhos ao ponto anômalo.

3.5.2 Remoção do campo interno da Terra

Uma vez que este estudo investiga fontes magnéticas presentes na crosta, é necessário que seja removido o campo magnético interno da Terra (IGRF). O modelo foi calculado ponto a ponto, através do *software Oasis Montaj*, e removido dos dados filtrados, restando somente as anomalias magnéticas da área de estudo (Fig. 12).

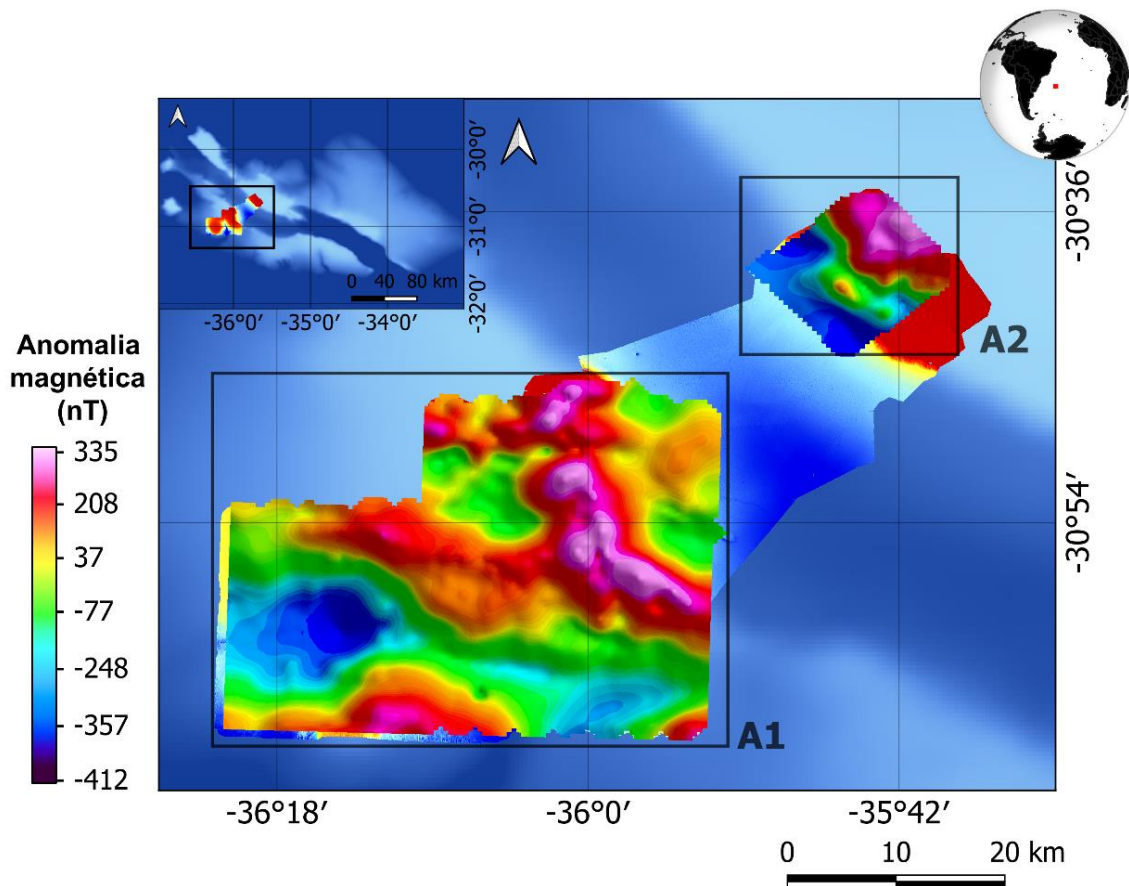


Figura 12: Mapas das anomalias magnéticas, em nT, coletado na porção norte do Rife Cruzeiro do Sul (RCSN), durante o cruzeiro RGR-1, onde (a) apresenta a anomalia da área A1 e (b) apresenta a anomalia da área A2. O tamanho da célula do *grid* é de 450 m.

3.5.3 *Anomalia residual*

Uma vez que o objetivo deste estudo é localizar rochas vulcânicas e crostas de FeMn, situadas em superfície, é necessário que seja removida a tendência do campo magnético, ou seja, o longo comprimento de onda gerado por fontes mais profundas (Audet & Mareschal, 2007). Com o IGRF removido do campo total, foi aplicado o filtro gaussiano regional/residual nas anomalias magnéticas de cada área (A1 e A2).

Foi utilizado o filtro espectral interativo, o qual mostra o perfil do espectro de potência radial médio a partir do espectro original (perfil preto), do perfil filtrado (azul) e o perfil resultante (vermelho) (Fig. 13). Os dados foram, inicialmente, convertidos para o domínio da frequência, mediante a transformada rápida de Fourier (FFT). Em seguida, foi feita a filtragem espectral, utilizando o filtro residual que funciona como um filtro passa banda. O resultado foi a remoção do campo regional e realce das anomalias residuais no intervalo do número de onda escolhido para o estudo (Reeves, 2005). Tanto na área A1 como na A2, o filtro foi utilizado na primeira ordem (filtro de grau 1). Como premissa de corte dos dados, este filtro utiliza o desvio padrão com base no espectro de potência do filtro gaussiano. Para a área A1 foi escolhido o desvio padrão de 0,07778 e para a área A2 foi de 0,089.

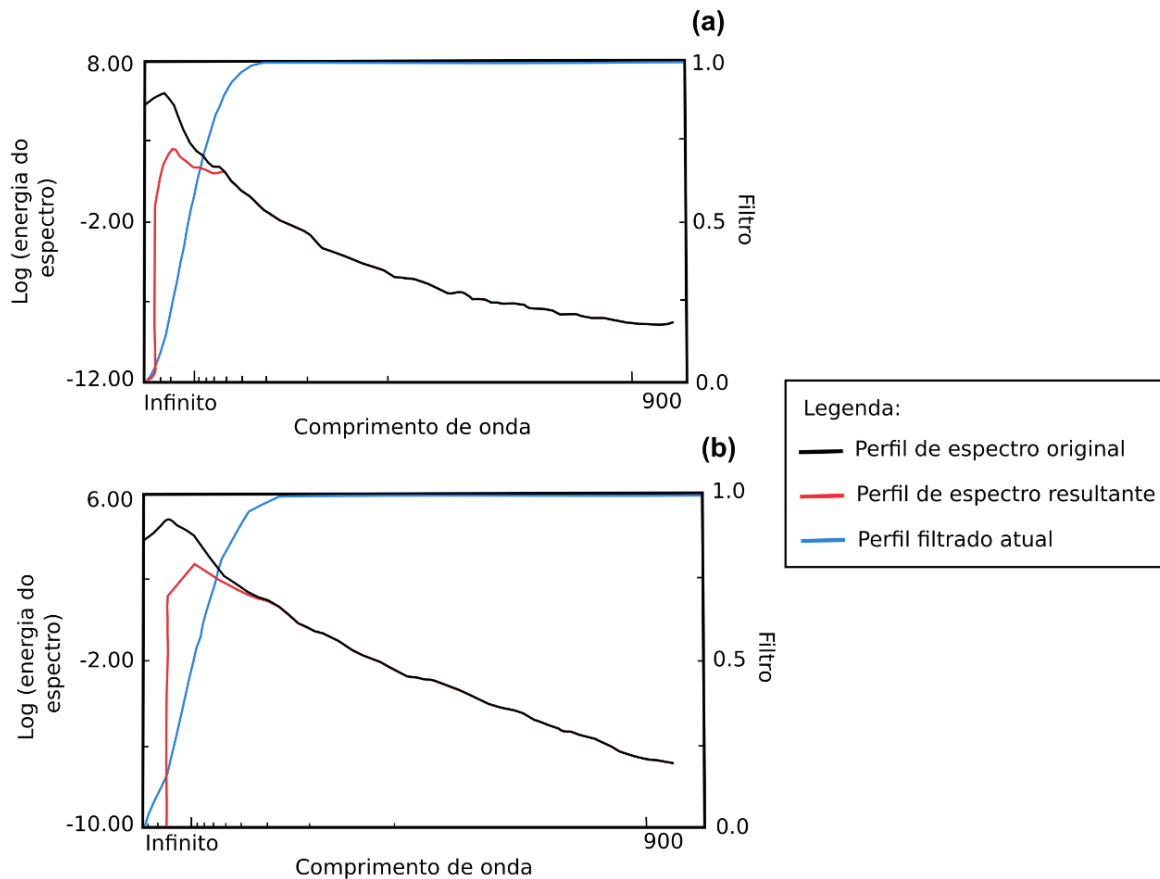


Figura 13: Espectro de potência radial médio dos dados magnéticos para as áreas de estudo: (a) A1 e (b) A2. Este espectro foi utilizado para a aplicação do filtro gaussiano na obtenção do campo residual. O eixo horizontal é definido em termos do número de onda (lembrando que o mesmo representa o inverso do comprimento de onda).

3.5.4 Filtro Amplitude do Sinal Analítico (ASA)

O ASA foi introduzido por Nabighian (1972) para corpos bidimensionais buscando uma estratégia para determinar a profundidade e localização de fontes magnéticas superficiais, através de seu pico de máxima amplitude, facilitando a interpretação dos resultados de anomalia magnética (Blakely, 1996). Posto isto, este filtro foi aplicado na intenção de identificar os limites laterais das rochas vulcânicas e crostas de FeMn presentes na região de estudo. Contudo, a magnitude do ASA independe da direção de magnetização das fontes magnéticas, não mostrando corpos remanentes. Blakely (1996) ainda afirma que este método pode ser aplicado para casos tridimensionais, sendo calculado através das derivadas horizontais e vertical do campo magnético (Equação 2):

$$|ASA| = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2} \quad (2)$$

sendo T o campo magnético anômalo.

3.5.5 Filtro de Redução ao Polo (RTP)

O filtro de Redução ao Polo (RTP) foi inicialmente descrito por Baranov (1957), o qual retratou uma técnica para transformar as anomalias assimétricas do campo magnético total em anomalias simétricas de mais fácil interpretação. Com isso, o RTP é considerado um método capaz de simular como as anomalias magnéticas, medidas em determinada região, se comportariam se fossem postas no polo magnético, cuja anomalia induzida ocorre na vertical (Melo & Barbosa, 2019). Como resultado, as anomalias ficam centradas sobre os limites da fonte magnética.

Este filtro apresenta uma complexidade na aplicação na presença de magnetização remanente, pois havendo-a pode produzir resultados inconclusivos e até errôneos (De Melo et al., 2011; Melo & Barbosa, 2019). O RTP é instável para baixas latitudes magnéticas (Silva, 1986). Neste caso, a inclinação geomagnética é considerada nula e a equação deste filtro tende a infinito, podendo produzir falsas anomalias lineares com a direção para a declinação magnética (De Melo et al., 2011). O RTP foi calculado de acordo com a Equação 3:

$$RTP(\theta) = \frac{1}{[\sin(I_a) + \cos(I) \times \cos(D - \theta)]^2} \quad (3)$$

sendo I a inclinação geomagnética, I_a a inclinação para a correção da amplitude (nunca menor que I), D é a declinação geomagnética e θ a latitude.

3.5.6 Filtro Tilt Derivative (TDR)

Inicialmente introduzido por Miller & Singh (1994), o filtro *Tilt Derivative* (TDR; Eq. 4) é utilizado para detecção de fontes magnéticas rasas ou profundas, delineando sua extensão horizontal, através do ângulo de inclinação. Em geral, quando este ângulo é positivo indica a localização da fonte, aproximadamente zero sugere a borda e negativo é fora da região da fonte, facilitando a interpretação de mapas de campo potencial (Miller & Singh, 1994). Através deste filtro, é possível determinar falhas, diques, feições lineares com contraste de magnetização (Oruç & Selim, 2011). Este filtro foi aplicado na intenção de investigar a zona de falhas encontrada no Rife Cruzeiro do Sul na porção oeste da ERG (Praxedes et al., 2019). Uma vez que o resultado de RTP mostra a anomalia centralizada sobre a fonte, o filtro TDR foi aplicado sobre este para reduzir a imprecisão da localização dos lineamentos (Verduzco et al., 2004).

$$TDR = \tan^{-1} \left[\frac{\frac{dT}{dz}}{\sqrt{\left(\frac{dT}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dT}{dy}\right)^2}} \right] \quad (4)$$

sendo T a intensidade do campo magnético total (Miller & Singh, 1994).

4. RESULTADOS

Esta seção contém os resultados encontrados neste estudo, utilizando alguns dos diferentes dados descritos na seção anterior. Foram elaborados o mapa de declividade da região de estudo, através da batimetria, e os mapas resultantes após a aplicação dos filtros ASA, RTP e TDR, através dos dados magnéticos. Os dados de *sidescan sonar* e das dragas foram usados na discussão.

4.1 Declividade da porção norte do Rife Cruzeiro do Sul (RCSN)

A Figura 14 mostra declividades maiores que 30° nas margens do Rife Cruzeiro do Sul, demarcando bem suas escarpas de falha. O topo do platô da margem direita do Rife, na porção nordeste do mapa, definiu um lineamento em superfície que tem entre 10° e 15° de declividade. Já o topo do platô na margem esquerda do Rife é também predominantemente plano ($< 5^\circ$), mas algumas estruturas circulares são percebidas na porção sudoeste, circulado em verde no mapa, onde a declividade variou entre 10° e 15° , e um terreno mais rugoso pode ser percebido ao sul, indicado pela seta em preto, ambos podendo corresponder a crostas de FeMn. Ademais, o mapa de declividade configurou bem os contornos da batimetria, mostrando um relevo mais irregular, suas estruturas e formas conforme aumenta em profundidade, onde a declividade variou de 10° a 25° .

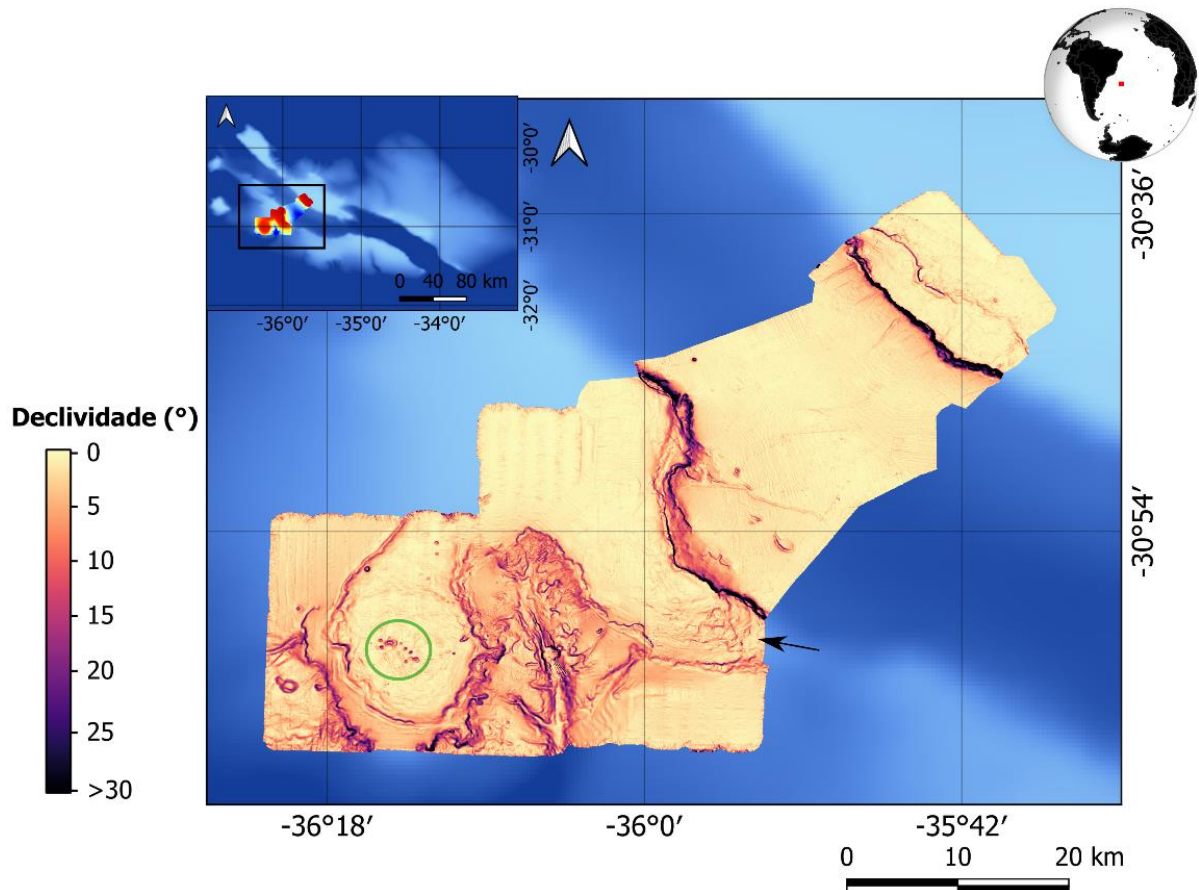


Figura 14: Mapa de declividade da região de estudo, em graus, demarcando bem as escarpas de falha do rifte, onde a declividade chega a alcançar mais de 30° (cor preta). O topo do platô na margem nordeste do Rifte no mapa apresentou um lineamento bem demarcado, enquanto o topo do platô mais a sudoeste indicou estruturas circulares, indicadas pelo círculo em verde, e mais ao sul do mapa há um relevo mais rugoso, indicado pela seta em preto, que podem se associar a crostas de FeMn.

4.2 Anomalias magnéticas na porção norte do Rifte Cruzeiro do Sul (RCSN)

Uma vez que os objetos de estudo deste trabalho são estruturas superficiais (rochas vulcânicas e crostas ricas em Fe e Mn), foi utilizado o filtro gaussiano na intenção de remover os efeitos magnéticos regionais que são definidos pelos longos comprimentos de onda, e realçar o campo residual gerado por fontes mais rasas. A Figura 15 mostra que as anomalias magnéticas das áreas A1 e A2, visualmente, apresentam um comprimento de onda (tamanho das anomalias) similar e comportamento parecido. As Figuras 16 e 17 mostram os resultados individuais, obtidos após a aplicação dos filtros gaussianos, ASA e RTP nas áreas A1 e A2, respectivamente, para melhor visualização e descrição.

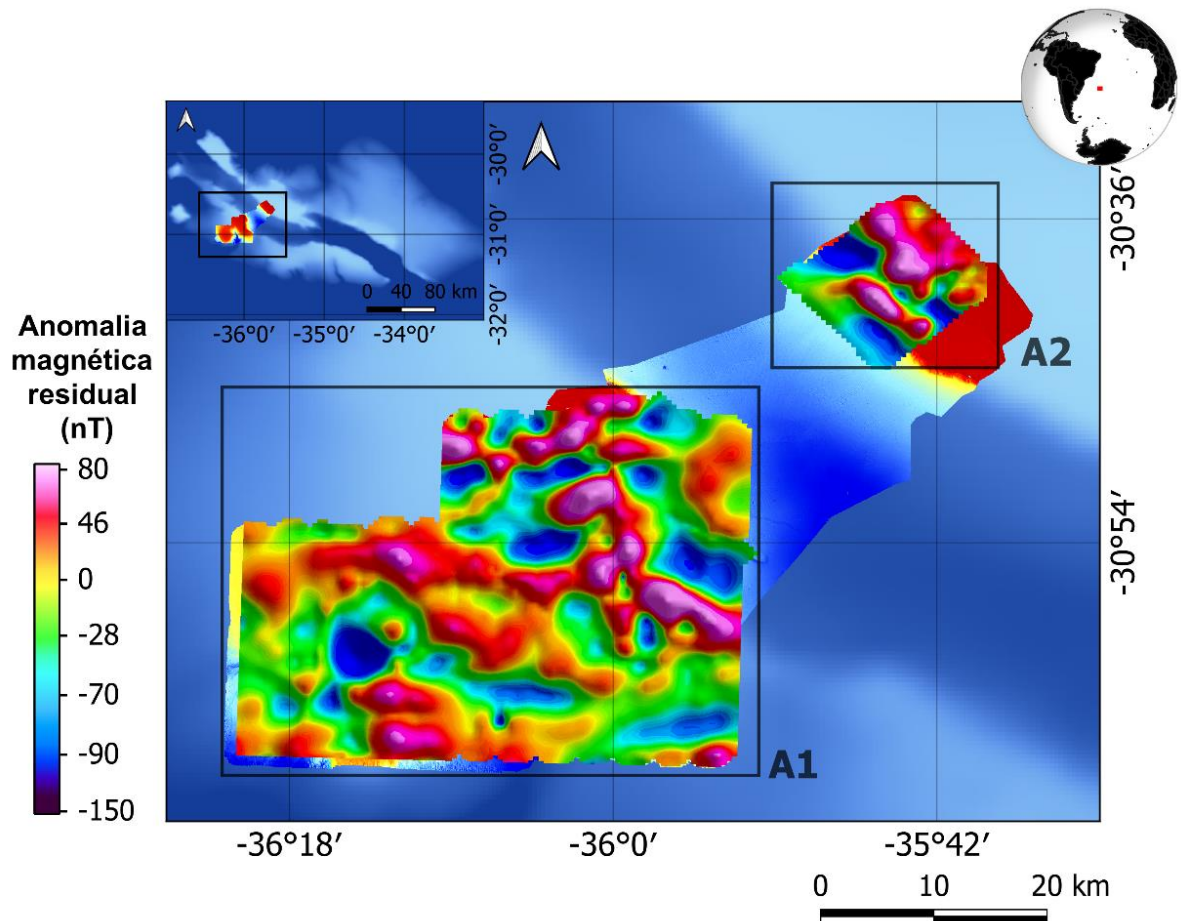


Figura 15: Mapas da anomalia magnética residual, obtido após a aplicação do filtro gaussiano, nas áreas A1 e A2. Para a área A1 foi utilizado um desvio padrão de 0,07778 e para a área A2 foi utilizado um desvio padrão de 0,089. O tamanho da célula do grid é de 450 metros.

Em relação à área A1, o campo magnético residual apresentou uma amplitude de -99 a 97 nT, sendo composto tanto por anomalias de polarizações normais, quanto reversas (Fig. 16a). O filtro ASA evidenciou picos individuais, centralizados em potenciais fontes magnéticas, situados próximos a margem do Rifte Cruzeiro do Sul, na porção nordeste do mapa (Fig. 16b). Além disso, outro corpo mais isolado pode ser localizado mais a sudoeste (Fig. 16b). Como mencionado anteriormente, o filtro RTP é capaz de simplificar a interpretação das anomalias magnéticas induzidas, simulando seu comportamento no polo magnético, cujo campo é vertical. Em geral, as anomalias se tornam positivas e ficam centradas sobre os limites da fonte. A Figura 16c apresenta este resultado na área A1, com valores de anomalia variando entre 250 e -200 nT. A falta de picos positivos sobre as anomalias delimitadas pelo ASA indicam a presença de forte remanência nos dados. Em resumo, foi visto que a nordeste do mapa, a magnetização é predominantemente induzida, com anomalias intensas e positivas, e alguns corpos com presença de magnetização remanente - anomalias negativas após a RTP (Fig. 16c), onde o filtro

ASA apresentou valores mais altos (Fig. 16b). Já na parte sudoeste do mapa, é nítida a magnetização remanente do corpo, indicada pela anomalia negativa (Fig. 16a e 16c). O mapa do TDR (Fig. 16d) apresenta valores variando entre 1,545 e -1,56 radianos. Em primeira análise, os lineamentos (partes mais claras do mapa) parecem seguir as anomalias positivas (tons avermelhados/rosados) dos mapas de anomalia residual e RTP (Figs. 16a e 16c). Nessa figura, é possível observar uma predominância da direção NO-SE para os lineamentos.

Da mesma forma, foram aplicados filtros ASA e RTP para caracterizar a área A2, mapeando possíveis fontes magnéticas superficiais, responsáveis pelas anomalias residuais calculadas pelo filtro gaussiano. As anomalias magnéticas residuais nesta região (Fig. 17a) têm amplitude variando de 186 a -155 nT, composto por anomalias de polarização normal. Na área A2, o resultado do filtro ASA apresentou quatro principais regiões com potenciais fontes magnéticas: uma a noroeste, uma central, uma a sudeste e uma maior a sudoeste do mapa (Fig. 17b). O resultado do filtro RTP nesta área apresenta potenciais anomalias induzidas e remanentes, indicadas pelas anomalias positivas e negativas do mapa, respectivamente, com valores que variam entre 235 a -199 nT (Fig. 17c). As regiões noroeste e sudeste aparentam ter uma magnetização remanente, devido aos sinais opostos encontrados pelo ASA (positivo) e RTP (negativo), enquanto as regiões central e sudoeste possuem uma magnetização induzida, uma vez que tanto o valor do ASA como o do RTP são positivos. A Figura 17d mostra o resultado obtido pelo filtro TDR e, como destacado para a área A1, os lineamentos também parecem seguir as anomalias positivas dos mapas de anomalia residual e do RTP (Figs. 17a e 17c) na mesma direção preferencial NO-SE.

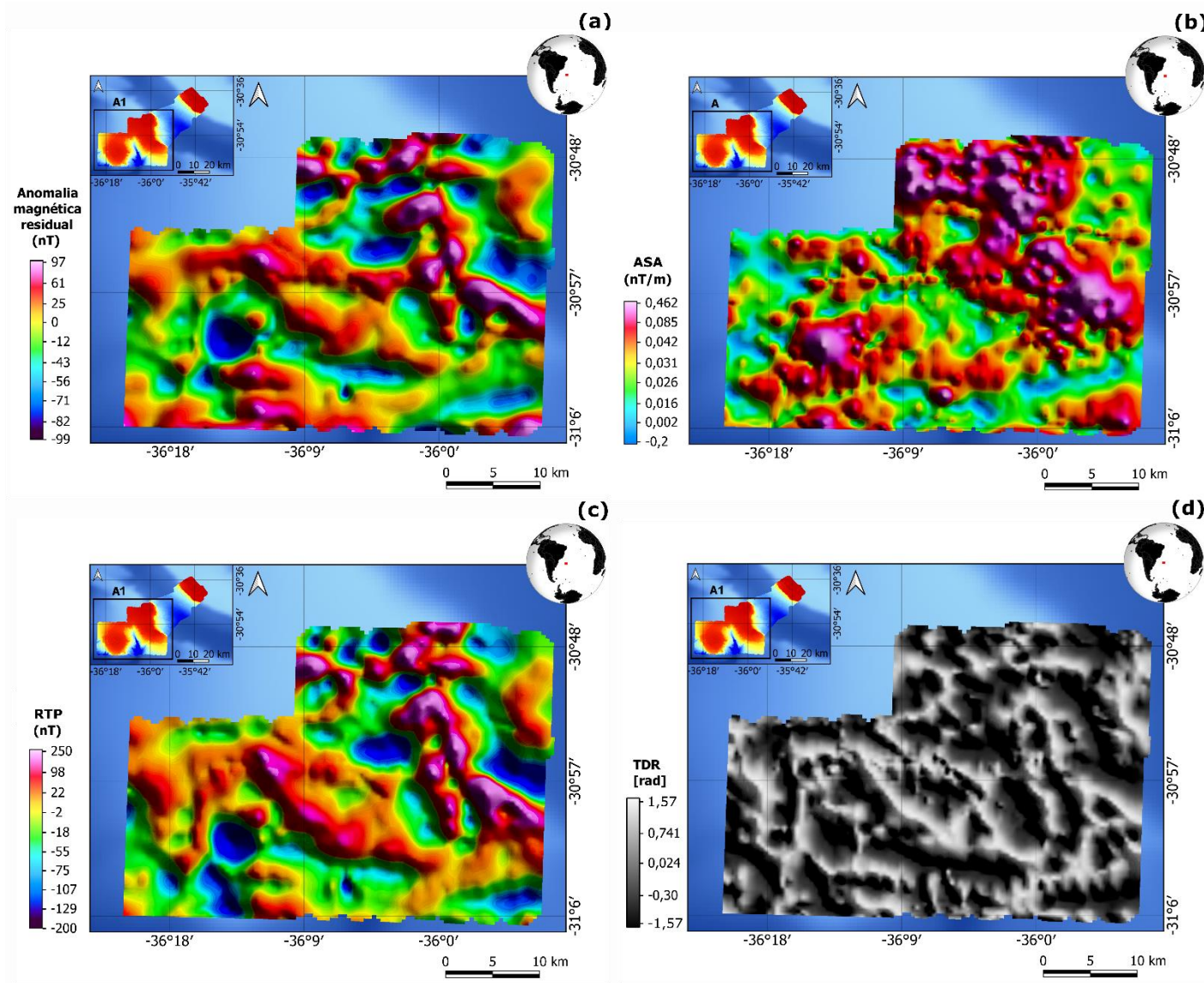


Figura 16: Mapas dos resultados obtidos na área A1, após a aplicação dos filtros: (a) Gaussiano para obtenção da anomalia magnética residual, utilizando um desvio padrão de 0,07778; (b) Amplitude do Sinal Analítico (ASA); (c) Redução ao Polo (RTP); e (d) *Tilt Derivative* (TDR). Em todos os mapas, o tamanho da célula do grid é de 450 metros.

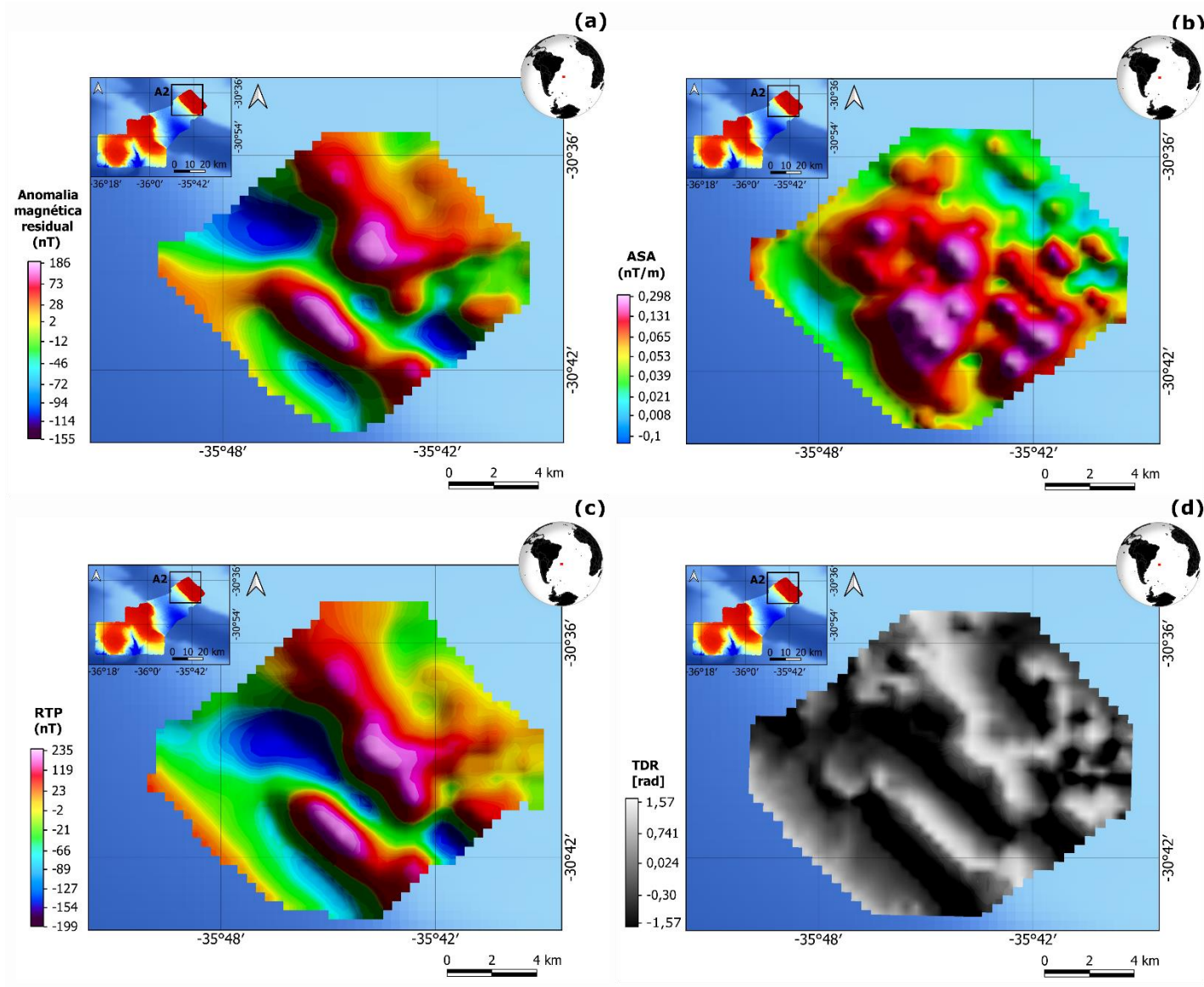


Figura 17: Mapas dos resultados obtidos na área A2, após a aplicação dos filtros: (a) Gaussiano para obtenção da anomalia magnética residual, utilizando um desvio padrão de 0,089; (b) Amplitude do Sinal Analítico (ASA); (c) Redução ao Polo (RTP); e (d) *Tilt Derivative* (TDR). Em todos os mapas, o tamanho da célula do grid é de 450 metros.

5. DISCUSSÃO

5.1 Investigação da zona de falhas nas margens do Rifte Cruzeiro do Sul

De acordo com Praxedes et al. (2019), o Rifte Cruzeiro do Sul é caracterizado por um conjunto de blocos rotacionados separados por falhas normais antitéticas que se estendem até o embasamento acústico. Além disso, estes autores afirmam que o platô da porção nordeste é formado por um relevo plano composto por sequências sedimentares parcialmente erodidas, consequente de processos erosivos subaéreos que ocorreram há 20-40 Ma (Eoceno Médio a Oligoceno Recente) anteriores ao processo de subsidência. Estes resultados foram obtidos por interpretação sísmica (Fig. 18a e Fig. 18b) e correlação com o poço 516F (30°16,59'S, 35°17,10'O; Fig. 18c).

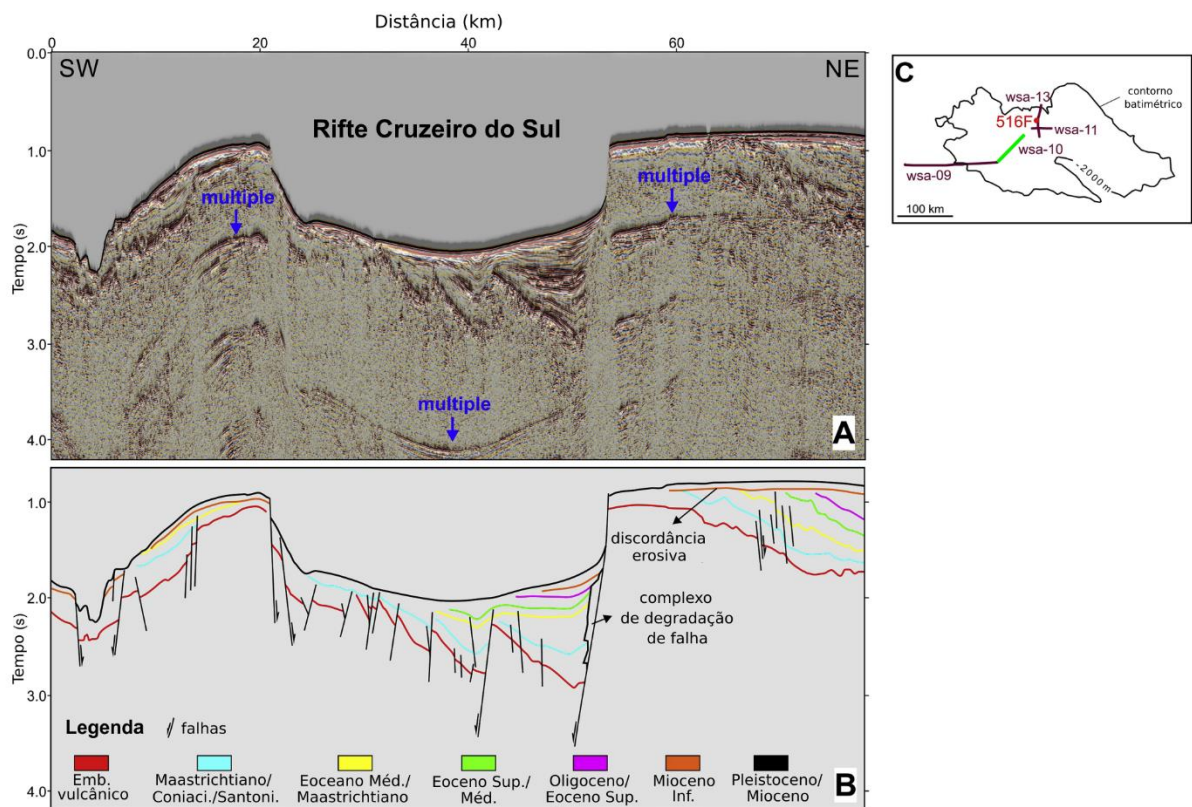


Figura 18: Seção sísmica bruta (a) e interpretada (b) da linha wsa-10, localizada na porção norte do Rifte Cruzeiro do Sul (c; linha destacada em verde). Adaptado de Praxedes et al. (2019).

Com base nisso, foram destacadas as principais anomalias do resultado do ASA das áreas A1 e A2 e foram inseridas sobre o mapa de batimetria da região (Fig. 19a). Esta figura mostra que as anomalias se concentram, predominantemente, no topo do platô e próximas a borda do Rifte Cruzeiro do Sul, onde a profundidade é de cerca de 750 metros. A Figura 19b indica os lineamentos (traçados em azul), a partir do mapa de TDR, filtro aplicado sobre o mapa

RTP, na intenção de verificar se estes lineamentos superficiais possuiriam característica de falha, conforme abordado no estudo de Praxedes et al. (2019). Uma vez dito isto, foram confeccionadas as Figuras 19c e 19d, nas quais puderam-se associar as anomalias do ASA (em verde) e os lineamentos (em azul) com enfoque na zona do rifte. É notável uma tendência NO-SE destes lineamentos, acompanhando a direção da margem do rifte (Figs. 19c e 19d). Assumindo que o dado de RTP foi aplicado sobre o filtro de TDR para produzir este resultado, algumas bordas de fontes magnéticas geradas após a aplicação do filtro ASA, localizadas próximas ou dentro destes lineamentos, podem estar associadas aos mesmos, uma vez que as zonas de falhas normais, definidas por Praxedes et al. (2019), apresentam menor resistência e pressão facilitando a intrusão de magma nestes locais.

As falhas nas bordas do rifte encontradas após a aplicação do filtro TDR corroboram com os resultados da linha sísmica wsa-10 encontrados por Praxedes et al. (2019). Uma das hipóteses de origem da ERG está relacionada com o vulcanismo do *hotspot* Tristão da Cunha e subsidência termal (Gamboa & Rabinowitz, 1984; O'Connor & Duncan, 1990; Galvão & de Castro, 2017), a porção oeste também sofreu o efeito deste evento magmático formando, provavelmente, o complexo de falhas normais ao longo da região de estudo. Portanto, foi sugerido que as falhas do rifte estão associadas à origem da ERG, durante o processo de abertura do oceano Atlântico, como já mencionado por Galvão & de Castro (2017) e Praxedes et al. (2019).

De forma complementar, é importante ressaltar o estudo de Galvão & de Castro (2017). Saindo de uma escala mais local para regional, neste artigo foi mencionado que as Zonas de Fraturas oceânicas coincidiram com as inflexões observadas no Rifte Cruzeiro do Sul, possivelmente caracterizadas por falhas transformantes e controladas por eventos tectônicos durante sua formação (Fig. 20). Este resultado foi obtido através de lineamentos magnéticos interpretados produzidos por dados de TDR. Esta questão é importante para entender a gênese, tectônica e magmática da ERG e estudos têm aprimorado cada vez mais o conhecimento em relação a isto. É possível observar que a área de estudo do presente trabalho está localizada em um dos primeiros pontos de inflexão do Rifte, indicado pelo lineamento 1 da Figura 20a. De acordo com Mohriak et al. (2010), a formação do Rifte afetou tanto a crosta continental como a oceânica e, através de movimentos transcorrentes ao longo da zona de cisalhamento, houve um intenso fraturamento que provocou a ascensão de material vulcânico no local. Portanto, este resultado é coerente e concorda com a hipótese de origem da ERG associada a pluma mantélica Tristão da Cunha, que, por sua vez, também está relacionada a gênese deste rifte, devido à presença dos lineamentos associados à zona de falhas geradas durante sua formação.

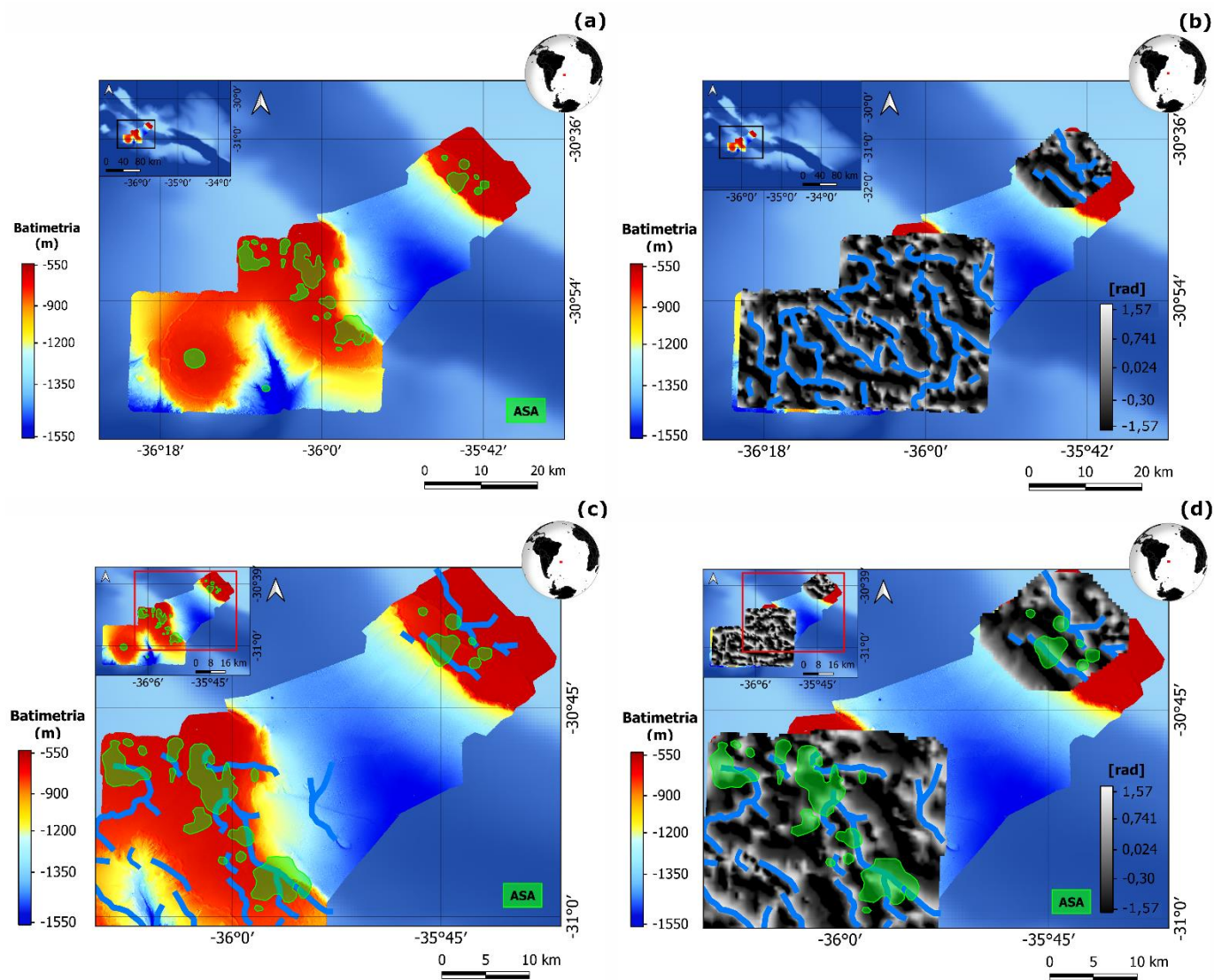


Figura 19: Mapas interpretativos dos resultados obtidos pelos filtros ASA e TDR na região de estudo: (a) mostra o mapa batimétrico da área junto às principais anomalias encontradas, após a aplicação do filtro ASA (em verde); (b) é o resultado do filtro TDR aplicado sob o resultado da RTP em ambas as áreas A1 e A2, com os lineamentos traçados em azul; (c) é um zoom do mapa batimétrico, indicando os lineamentos presentes nas bordas do rifte (em azul) e possíveis anomalias do ASA (em verde) associadas aos mesmos; e (d) é um zoom do mapa de TDR, mostrando os lineamentos das bordas do rifte (em azul) e possíveis anomalias do ASA (em verde) associadas a eles.

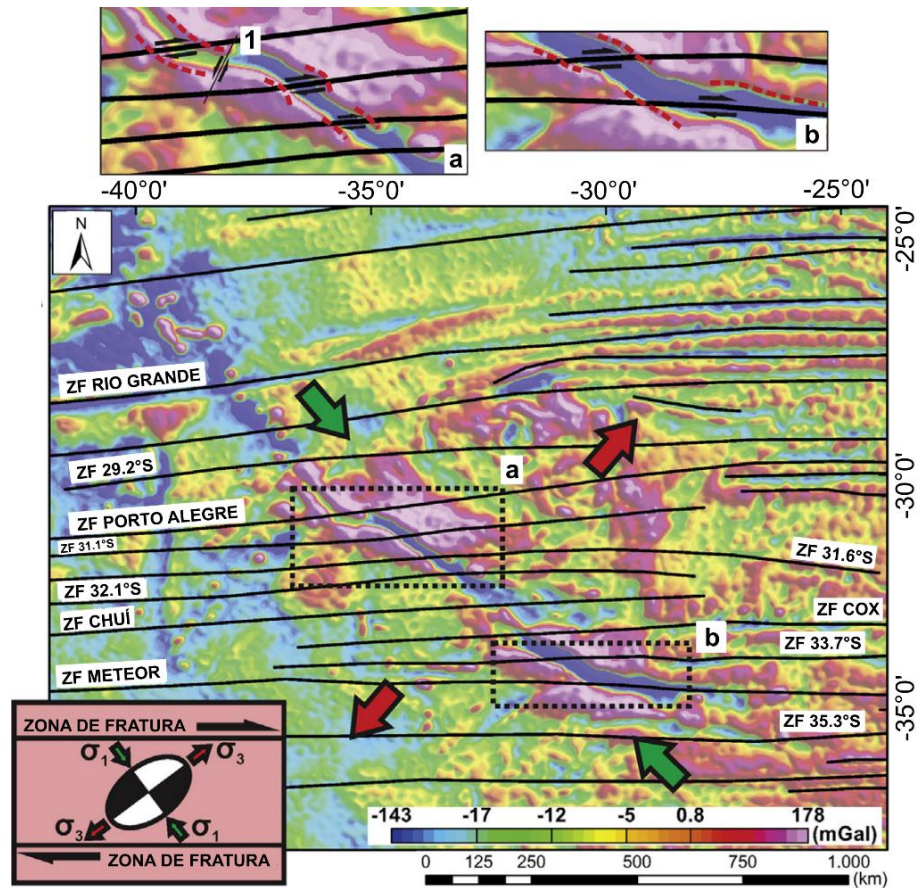


Figura 20: Mapa de anomalia Ar-livre apresentando os eventos tectônicos que originaram o Rifte Cruzeiro do Sul. ZF = Zona de Fratura. (a) e (b) apontam as principais inflexões do Rifte nos seus segmentos norte e sul, respectivamente. “1” indica o lineamento magnético que cruza a atual área de estudo com sua inflexão (Adaptado de Galvão & de Castro, 2017).

5.2 Rochas vulcânicas e crostas na porção norte do Rifte Cruzeiro do Sul (RCSN)

Conforme comentado inicialmente, alguns trabalhos indicam a presença de rochas vulcânicas e crostas de FeMn no RCSN. Jovane et al. (2019) relatam a existência de rochas vulcânicas na área de estudo, através da coleta por operações de dragagem, situadas principalmente nas margens do Rifte Cruzeiro do Sul (Figs. 21a e 21b nas dragas D05, D06, D08 e D13, em amarelo), onde foram destacadas possíveis bordas de fontes magnéticas. Da mesma forma, as dragas 22, 23, 35, 47 e 53, em azul, também destacaram a presença destas rochas, coletadas no cruzeiro DY094 (Murton, 2018). Com isso, a presença de rochas vulcânicas nesta porção pode servir como explicação para o comportamento do sinal magnético predominantemente induzido, encontrado pelo filtro RTP.

Segundo Benites et al. (2020), algumas destas dragas puderam encontrar também crostas de FeMn adquiridas no topo do platô (Figs. 21a e 21b nas dragas D05, D06, D07, D10

e D11, em amarelo). Do mesmo modo, as dragas 22, 23, 34, 41, 46, 52, 53, 56 e 57 encontraram crostas de fosforita, durante o cruzeiro DY094 (Murton, 2018). Porém, estas não devem ser as principais responsáveis pela magnetização, pois o volume de magnetita destas crostas teria de ser muito elevado a ponto de influenciar no campo magnético tanto quanto ou mais que as rochas vulcânicas da região. Portanto, é mais plausível que a explicação da magnetização nesta região seja dada pela presença de rochas vulcânicas. A dragagem D11 e o resultado do filtro RTP (Fig. 21b) sugerem que a crosta de FeMn presente neste local pode apresentar característica de remanência, uma vez que a mesma está inserida dentro ou bem próxima a uma região de anomalia negativa. Isto é evidente após a redução, em consequência do resultado oposto (indicado pela cor rosa no mapa) encontrado no resultado do filtro ASA (Fig. 21a), o que significa a não adequação deste filtro neste local. Como possível explicação desta particularidade, tem-se o fato das crostas estarem fosfatizadas apresentando uma magnetização pretérita, visto que a idade de início de sua formação foi em cerca de 13,5 Ma (Benites et al., 2020), ou supostamente devido a presença de magnetita biogênica, como se apresentam em nódulos de FeMn nos estudos de Hassan et al. (2020) e Dong et al. (2016). Hipoteticamente, o mesmo ocorre nas crostas de fosforita coletadas pela draga D12 (Jovane et al., 2019). Por outro lado, esta remanência também pode ter sido provocada por um diferente material, não coletado pela draga.

Na área A2, as operações por dragagem, realizadas nos estudos de Jovane et al. (2019) e Benites et al. (2020), se situam predominantemente nas anomalias positivas (Figs. 21c e 21d), onde no topo do platô foram encontradas crostas ricas em Fe e Mn (D15 e D17, em amarelo). Igualmente acontece com as dragas 10, 62 e 63, em azul, que destacaram a presença de crostas de fosforita (Murton, 2018). Rochas vulcânicas foram encontradas nas dragas D15, D16 e D17, em amarelo (Jovane et al., 2019), e nas dragas 10, 17 e 63, em azul (Murton, 2018). Uma vez que as crostas foram intensamente erodidas na superfície basáltica nesta região (Benites et al., 2020), a presença de rochas basálticas pode explicar a magnetização supostamente induzida.

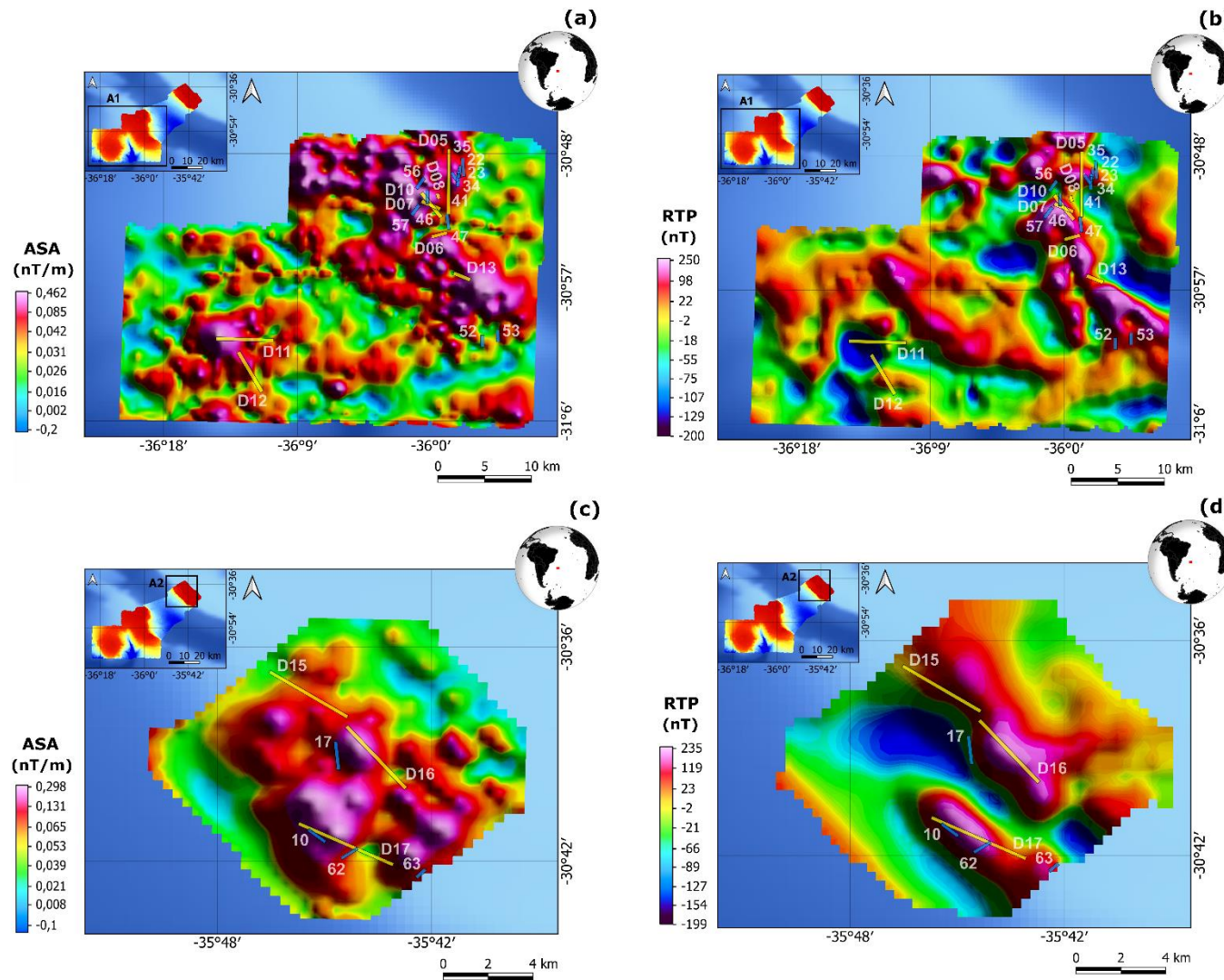


Figura 21: Mapas de integração dos resultados dos dados magnéticos com os caminhos percorridos pelas dragagens dos cruzeiros RGR-1 (em amarelo) e DY094 (em azul) das áreas A1 e A2. Mapa da ASA (a) e mapa da RTP (b) da área A1 com a posição das dragas D05, D06, D07, D08, D10, D11, D12 e D13 em amarelo e 22, 23, 34, 35, 41, 46, 47, 52, 53, 56, e 57 em azul. Mapa da ASA (c) e mapa da RTP (d) da área A2 com as posições das dragas D15, D16 e D17 em amarelo e 10, 17, 62 e 63 em azul. Em todos os mapas, o tamanho da célula do grid é de 450 metros.

5.3 Relevo e geologia da porção norte do Rifte Cruzeiro do Sul (RCSN): Integração dos dados de draga e *sidescan sonar*

Como mencionado anteriormente na subseção 2.3, a análise dos dados de *sidescan sonar* pode indicar sinais altos e baixos de retroespalhamento, produzindo informações sobre a geologia do relevo da região estudada. As áreas claras, ou de alto albedo, representam um assoalho duro, podendo se associar a crostas de FeMn ou rochas vulcânicas, e áreas escuras ou de baixo albedo indicam sedimentos mais macios (Murton, 2018). A integração dos dados geológicos com os de *sidescan* serve como uma autoconfirmação dos resultados, uma vez que se espera observar uma informação equivalente ou coerente entre eles (Fig. 22).

A subárea M foi caracterizada com a presença de depressões que constituíam de cascalho carbonático e fragmentos de crostas, relacionados com o sinal de baixo retroespalhamento (Fig. 22a). Os locais com um maior retroespalhamento foram associadas ao assoalho duro composto por calcarenitos compactados e rochas vulcânicas (Murton, 2018). Ainda não está claro como essas litologias se formaram na região. Para facilitar o entendimento, a Figura 23 mostra um zoom da área onde estruturas circulares, vistas pelos resultados de batimetria e declividade, coincidem de fato com as depressões, encontradas pelo resultado do *sidescan sonar*. Este resultado corroborou com o encontrado pelas amostras das dragas D11 e D12, as quais foram observadas crostas de FeMn, já também no resultado da declividade nesta região (indicadas pelo círculo verde na Figura 14), ou apenas fragmentos como vistos dentro das depressões, e basalto no topo.

Um albedo mais homogêneo, apresentando um assoalho composto por calcáreo duro e uma fina cobertura de sedimentos mais finos, é visto na subárea N (Murton, 2018; Fig. 22b). Tanto as rochas vulcânicas (principalmente, basálticas), encontradas nas dragas D05, 22, 23 e 35, como as crostas de FeMn encontradas nas dragas D05, 22, 23, 34 e 41, por serem materiais mais enrijecidos, podem explicar o alto albedo que prevalece nesta subárea.

Na subárea O, o assoalho foi caracterizado como duro, constituindo de calcáreo e finas camadas de crostas (Murton, 2018). Este resultado concorda com as amostras das dragas 52 e 53, presentes na região, uma vez que apresentou crostas e nódulos de fosforita (Fig. 22c), já pressupostas de acordo com o terreno rugoso mostrado no resultado da declividade nesta região (apontada pela seta preta na Figura 14). Uma das amostras da draga 53 também continha rocha ígnea. Tudo isto explica o predomínio do alto albedo na região.

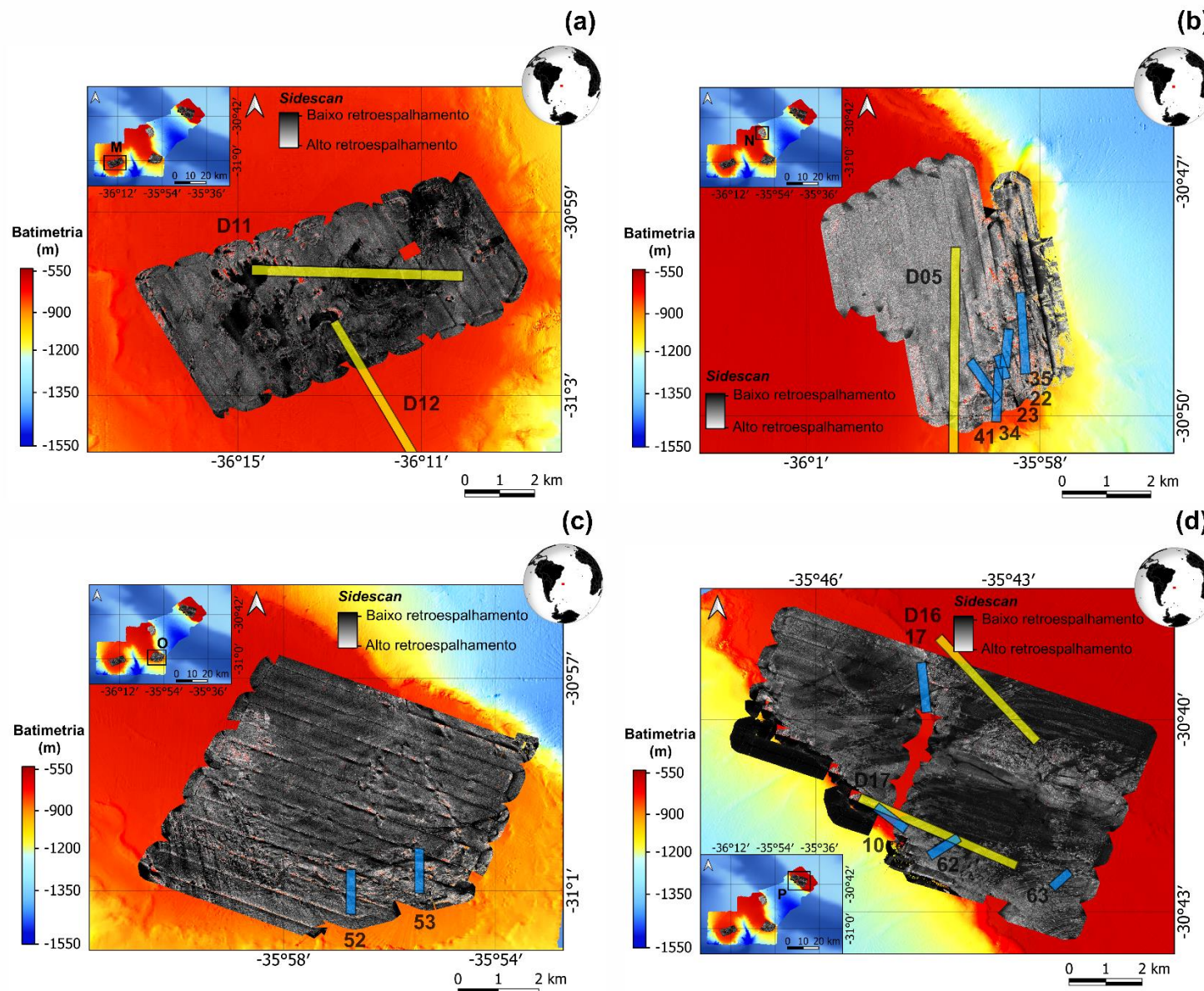


Figura 22: Mapas de relevo, obtidos através de missões realizadas pelo AUV que comportava o *sidescan sonar*, junto às operações por dragagem dos cruzeiros RGR-1 (em amarelo) e DY094 (em azul): (a) área M com as dragas D11 e D12; (b) área N com as dragas D05, 22, 23, 34, 35 e 41; (c) área O com as dragas 52 e 53; e (d) área P com as dragas D16, D17, 10, 17, 62 e 63.

Lavas e rochas maciças fraturadas com pequenas crostas de FeMn foram observadas na subárea P. Crostas de FeMn e arcos de sedimentos ondulados sobre um solo de calcáreo duro foram encontrados nas escarpas do rifte (Murton, 2018). Este resultado está de acordo com os resultados das amostras das dragas D16, D17, 10, 62 e 63, visto que foram ressaltadas a presença de crostas de FeMn e fosforita, encontradas no terreno irregular na Figura 22d. As rochas vulcânicas, principalmente basaltos, foram identificadas nas dragas D16, D17, 10, 17 e 63. Como foi visto, tanto as crostas como as rochas vulcânicas podem explicar o alto albedo. O baixo albedo, por sua vez, pode ser indicado pela presença de sedimentos finos na região.

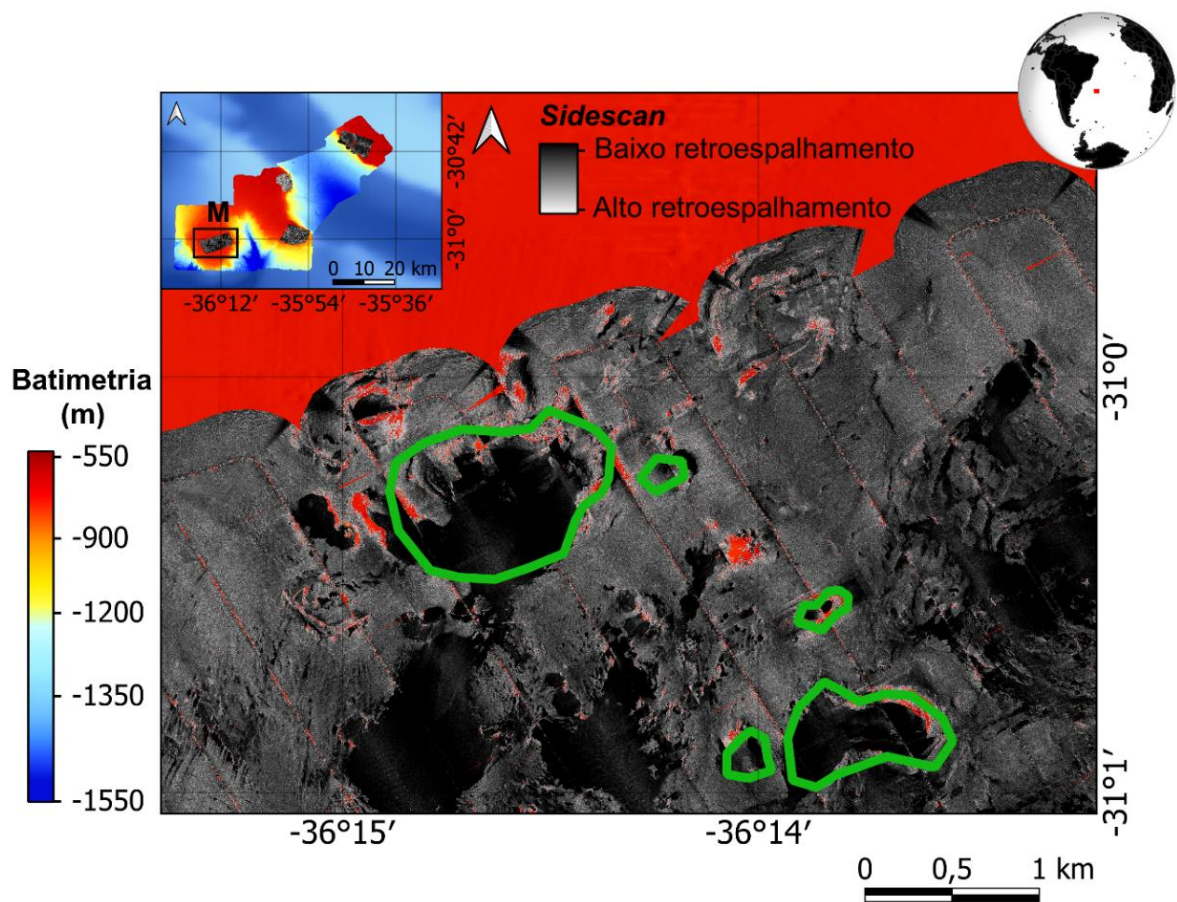


Figura 23: Zoom das estruturas circulares (*shapes* gerados a partir da batimetria), em verde, coincidentes às depressões (baixo retroespalhamento) encontradas pelo resultado de *sidescan sonar*.

6. CONCLUSÃO

Dentre os resultados obtidos neste trabalho, destacam-se duas regiões principais com potenciais fontes magnéticas na área A1. Nesta área, as anomalias magnéticas são predominantemente induzidas ocasionadas pela presença de rochas basálticas, coletadas por operações de dragagem localizadas no topo do platô, próximo a margem do Rifte. Também há indícios de remanência adentrando na porção mais central da área. Algumas das dragas também coletaram crostas de FeMn, contudo estas não devem ser a explicação das anomalias encontradas, uma vez que apresentavam uma espessura mínima e, para influenciar no campo magnético tão bem quanto rochas vulcânicas, teriam de conter um volume de magnetita muito elevado para produzir anomalias magnéticas. Portanto, a principal explicação seria as rochas basálticas. Na região sudoeste da área, uma anomalia magnética de maior destaque apresentou característica remanente, visto o sinal de amplitude máxima encontrado no filtro ASA e de amplitude mínima no filtro RTP, mostrando a inadequação do filtro de RTP nessa região. Além disso, o resultado da anomalia magnética residual já indicava uma anomalia reversa neste local. A composição desta região foi definida por crostas de FeMn e a explicação desta particularidade pode ser proporcionada por um material não coletado pela draga ou pelas próprias crostas, apresentando uma magnetização pretérita devido à: (1) sua idade de formação (aprox. 13,5 Ma), ou (2) presença de magnetita biogênica, como apresentado em alguns estudos de nódulos de FeMn no Oceano Pacífico.

Na área A2, a máxima amplitude do sinal analítico encontrada a noroeste e sudeste parece indicar certa remanência, uma vez que o filtro RTP possui baixos magnéticos nestas porções. As operações por dragagem estão localizadas nas regiões onde ocorreram as anomalias induzidas, dado a máxima amplitude tanto no ASA como no RTP. Nestas operações, foram coletadas rochas vulcânicas e crostas de FeMn bem erodidas na superfície basáltica, o que pode explicar essa magnetização induzida da região.

A partir do mapa de TDR, foi possível destacar lineamentos magnéticos, na intenção de investigar a ocorrência de falhas na área de estudo. Alguns dos lineamentos ressaltados parecem acompanhar as bordas do rifte, o que leva a associar a zona de falhas nesta região. Como é um local de menor resistência e pressão, normalmente ocorre intrusão de magma e, as principais anomalias encontradas pelo ASA, podem corresponder às rochas basálticas nestas regiões. Portanto, esta integração dos resultados corrobora com a literatura ao associar que as falhas do rifte tenham relação com a origem da ERG, durante o processo de abertura do Oceano Atlântico. Desta forma, este estudo concorda com o fato da ERG ter se originado durante este processo,

influenciado pela pluma mantélica Tristão da Cunha e, posterior, movimentação transcorrente durante a separação dos continentes.

A integração dos dados geológicos com *sidescan* foi importante para confirmar e complementar as informações adquiridas entre eles. Todas as subáreas apresentaram tanto basalto como crostas de FeMn. Em geral, as rochas vulcânicas e crostas de FeMn, materiais mais enrijecidos, explicavam o alto albedo, enquanto regiões de sedimentação fina o baixo albedo nos resultados de *sidescan*.

Este trabalho foi fundamental para contribuir com informações geológicas, magnéticas e batimétricas sobre a RCSN. Importante ressaltar que as crostas foram melhor visualizadas através de dados batimétricos, de *sidescan sonar* e geológicos coletados em superfície, enquanto a explicação dos sinais magnéticos encontrados na área de estudo foi, principalmente, pelas rochas basálticas, devido a sua elevada susceptibilidade magnética, em conformidade com os dados geológicos. Um padrão de distribuição das rochas basálticas pôde ser estabelecido, se concentrando, principalmente, próximas a zona de falhas e borda do rifte, enquanto crostas de FeMn não apresentaram um padrão bem definido, estando presente no topo do platô, como destacado no modelo representativo dos tipos de substrato na superfície proposto por Lisniowski et al. (2019). Mesmo assim, ainda é necessário realizar mais estudos que colaborem e acrescentem sobre a dinâmica, tectônica, história geológica e composição da ERG. Como sugestão, para uma melhor visualização de crostas e rochas vulcânicas na área de estudo seria necessário a elaboração de um modelo da área de estudo com dados de susceptibilidade magnética, remanência, densidade das amostras de dragagem, dados gravimétricos na mesma escala que os magnetométricos para uma maior precisão da modelagem, estudo aprofundado da tectônica e magmatismo da região e linhas sísmicas profundas que mostrem um maior detalhamento das camadas estratigráficas da região para amarrar os resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Audet, P., & Mareschal, J. C. (2007). Wavelet analysis of the coherence between Bouguer gravity and topography: application to the elastic thickness anisotropy in the Canadian Shield. *Geophysical Journal International*, 168(1), 287-298. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03231.x>.
- Baranov, V. (1957). A new method for interpretation of aeromagnetic maps: pseudo-gravimetric anomalies. *Geophysics*, 22(2), 359-382. <https://doi.org/10.1190/1.1438369>.
- Benites, M., Hein, J. R., Mizell, K., Blackburn, T., & Jovane, L. (2020). Genesis and evolution of ferromanganese crusts from the summit of Rio Grande Rise, Southwest Atlantic Ocean. *Minerals*, 10(4), 349. <https://doi.org/10.3390/min10040349>.
- Beyer, A. (2006). Seafloor analysis based on multibeam bathymetry and backscatter data= Meeresbodenanalyse auf der Basis von Bathymetrie und akustischer Rückstreuung. *Berichte zur Polar- und Meeresforschung (Reports on Polar and Marine Research)*, 540. https://doi.org/10.2312/BzPM_0540_2006.
- Blakely, R. J. (1996). *Potential theory in gravity and magnetic applications*. Cambridge university press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511549816>.
- Constantino, R. R., Hackspacher, P. C., De Souza, I. A., & Costa, I. S. L. (2017). Basement structures over Rio Grande Rise from gravity inversion. *Journal of South American Earth Sciences*, 75, 85-91. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2017.02.005>.
- De Melo, A. C., Santos, R. B., Carlos, D. U., Neto, C. F. P., & Barbosa, V. C. (2011). Filtro de Redução ao Pólo: Potencialidades e Limitações. In 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF, Rio de Janeiro, Brazil, 15–18 August 2011 (pp. 604-609). Society of Exploration Geophysicists and Brazilian Geophysical Society. <https://doi.org/10.1190/sbgf2011-125>.
- De Souza, K. G., Fontana, R. L., Mascle, J., Macedo, J. M., Mohriak, W. U., & Hinz, K. (1993). The southern Brazilian margin: an example of a South Atlantic volcanic margin. In 3rd International Congress of the Brazilian Geophysical Society (pp. cp-324). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609-pdb.324.1336>.
- Detrick, R. S., Sclater, J., & Thiede, J. (1977). The subsidence of aseismic ridges. *Earth and Planetary Science Letters*, 34(2), 185-196. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(77\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0012-821X(77)90003-6).
- Dietz, R. S., & Holden, J. C. (1970). Reconstruction of Pangaea: breakup and dispersion of continents, Permian to present. *Journal of Geophysical Research*, 75(26), 4939-4956. <https://doi.org/10.1029/JB075i026p04939>.
- Dong, Y., Li, J., Zhang, W., Zhang, W., Zhao, Y., Xiao, T., ... & Pan, H. (2016). The detection of magnetotactic bacteria in deep sea sediments from the east Pacific Manganese Nodule Province. *Environmental microbiology reports*, 8(2), 239-249. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12374>.

- Dunlop, D. J., & Özdemir, Ö. (2001). *Rock magnetism: fundamentals and frontiers* (No. 3). Cambridge university press. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511612794>.
- Galvão, I. L. G., & de Castro, D. L. (2017). Contribution of global potential field data to the tectonic reconstruction of the Rio Grande Rise in the South Atlantic. *Marine and Petroleum Geology*, 86, 932-949. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.06.048>.
- Gamboa, L. A. P., & Rabinowitz, P. D. (1984). The evolution of the Rio Grande Rise in the southwest Atlantic Ocean. *Marine Geology*, 58(1-2), 35-58. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(84\)90115-4](https://doi.org/10.1016/0025-3227(84)90115-4).
- GEBCO Compilation Group. (2020). GEBCO_2020 Grid. <https://doi.org/10.5285/a29c5465-b138-234d-e053-6c86abc040b9>.
- Graça, M., Stanton, N., & Kuszniir, N. (2018). Crustal Structure and Composition of the Rio Grande Rise, South Atlantic, from Potential Field Analyses. In EGU General Assembly Conference Abstracts (p. 1194).
- Hassan, M. B., Rodelli, D., Benites, M., Abreu, F., Murton, B., & Jovane, L. (2020). Presence of biogenic magnetite in ferromanganese nodules. *Environmental microbiology reports*, 12(3), 288-295. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12831>.
- Hein, J. R., & Koschinsky, A. (2014). Deep-ocean ferromanganese crusts and nodules. *Earth Systems and Environmental Science, Treatise on Geochemistry*, 13(2), 273–291. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01111-6>.
- Hein, J. R., Koschinsky, A., & Halliday, A. N. (2003). Global occurrence of tellurium-rich ferromanganese crusts and a model for the enrichment of tellurium. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67(6), 1117-1127. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(02\)01279-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(02)01279-6).
- Jovane, L., Hein, J. R., Yeo, I. A., Benites, M., Bergo, N. M., Correa, P. V., ... & Brandini, F. P. (2019). Multidisciplinary scientific cruise to the Rio Grande Rise. *Frontiers in Marine Science*, 6, 252. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00252>.
- Kaji, A. O., Guerra, J. V., Fernandes, A. M., Oliveira, R. F. D., Silva, C. G., & Reis, A. T. D. (2011). Potencial de transporte sedimentar pelas correntes de fundo na região do Canal de Vema (Atlântico Sul). *Revista Brasileira de Geofísica*, 29, 385-400. <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2011000200013>.
- Kumar, N. (1979). Origin of “paired” aseismic rises: Ceará and Sierra Leone rises in the equatorial, and the Rio Grande Rise and Walvis Ridge in the South Atlantic. *Marine Geology*, 30(3-4), 175-191. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(79\)90014-8](https://doi.org/10.1016/0025-3227(79)90014-8).
- Lisniewski, M. A. et al. (2019). Multibeam and video data applied to Seabed Mapping in the Rio Grande Rise, SW Atlantic. In GEOHAB Marine Geological & Biological Habitat Mapping Conference Abstracts, 1, 125-126.

Lowrie, W. (2007). *Fundamentals of geophysics*. Cambridge University Press, 307-312.

Melo, F. F., & Barbosa, V. C. (2019). Reduction to the pole in Fourier domain—good and bad filtering of real data in Brazil. <https://doi.org/10.22564/16cisbgf2019.240>

Micallef, A. (2011). Marine geomorphology: Geomorphological mapping and the study of submarine landslides. In *Developments in earth surface processes*. Elsevier, 15, 377-395. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53446-0.00013-6>.

Miller, H. G., & Singh, V. (1994). Potential field tilt—a new concept for location of potential field sources. *Journal of applied Geophysics*, 32(2-3), 213-217. [https://doi.org/10.1016/0926-9851\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0926-9851(94)90022-1)

Mio, E. D., Chang, H. K., & Corrêa, F. S. (2005). Integração de métodos geofísicos na modelagem crustal da Bacia de Santos. *Revista brasileira de Geofísica*, 23, 275-284. <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2005000300006>.

Mohriak, W. U., Nóbrega, M., Odegard, M. E., Gomes, B. S., & Dickson, W. G. (2010). Geological and geophysical interpretation of the Rio Grande Rise, south-eastern Brazilian margin: extensional tectonics and rifting of continental and oceanic crusts. *Petroleum Geoscience*, 16(3), 231-245. <https://doi.org/10.1144/1354-079309-910>.

Montserrat, F., Guilhon, M., Corrêa, P. V. F., Bergo, N. M., Signori, C. N., Tura, P. M., ... & Turra, A. (2019). Deep-sea mining on the Rio Grande Rise (Southwestern Atlantic): A review on environmental baseline, ecosystem services and potential impacts. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 145, 31-58. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2018.12.007>.

Morgan, W. J. (1971). Convection plumes in the lower mantle. *Nature*, 230(5288), 42-43. <https://doi.org/10.1038/230042a0>.

Murton, B. J. (2018). Cruise Report DY094: Rio Grande Rise. MarineE-tech Project, National Oceanography Centre, Southampton, UK.

Nabighian, M. N. (1972). The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37(3), 507-517. <https://doi.org/10.1190/1.1440276>.

O'Connor, J. M., & Duncan, R. A. (1990). Evolution of the Walvis Ridge-Rio Grande Rise hot spot system: Implications for African and South American plate motions over plumes. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 95(B11), 17475-17502. <https://doi.org/10.1029/JB095iB11p17475>.

Oruç, B. Ü. L. E. N. T., & Selim, H. H. (2011). Interpretation of magnetic data in the Sinop area of Mid Black Sea, Turkey, using tilt derivative, Euler deconvolution, and discrete wavelet

transform. *Journal of Applied Geophysics*, 74(4), 194-204.
<https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2011.05.007>.

Praxedes, A. G. P., de Castro, D. L., Torres, L. C., Gambôa, L. A. P., & Hackspacher, P. C. (2019). New insights of the tectonic and sedimentary evolution of the Rio Grande Rise, South Atlantic Ocean. *Marine and Petroleum Geology*, 110, 335-346.
<https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.07.035>.

Reeves, C. (2005). *Aeromagnetic surveys: principles, practice and interpretation* (Vol. 155). Washington (DC): Geosoft.

Silva, J. B. (1986). Reduction to the pole as an inverse problem and its application to low-latitude anomalies. *Geophysics*, 51(2), 369-382. <https://doi.org/10.1190/1.1442096>.

Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics*. Cambridge university press, 62-75.

Ussami, N., Chaves, C. A. M., Marques, L. S., & Ernesto, M. (2013). Origin of the Rio Grande Rise–Walvis Ridge reviewed integrating palaeogeographic reconstruction, isotope geochemistry and flexural modelling. *Geological Society, London, Special Publications*, 369(1), 129-146. <https://doi.org/10.1144/SP369.10>.

Verduzco, B., Fairhead, J. D., Green, C. M., & MacKenzie, C. (2004). New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *The leading edge*, 23(2), 116-119. <https://doi.org/10.1190/1.1651454>.

ANEXO A – Logdata das Operações por Dragagem dos Cruzeiros RGR-1 e DY094

Dragas RGR-1	Amostras	Litologia
D05	RGR1_D05_001	Basalto
	RGR1_D05_002	
	RGR1_D05_003	
	RGR1_D05_004	
	RGR1_D05_005	
	RGR1_D05_006	
	RGR1_D05_007	
	RGR1_D05_008	
	RGR1_D05_009	
	RGR1_D05_010	
	RGR1_D05_011	Crosta de FeMn
	RGR1_D05_012	
	RGR1_D05_013	
	RGR1_D05_014	
	RGR1_D05_016	
	RGR1_D05_017	
	RGR1_D05_017	
D06	RGR1_D06_003	Crosta de FeMn
	RGR1_D06_004	Basalto
	RGR1_D06_007	
	RGR1_D06_009	
	RGR1_D06_010	
	RGR1_D06_011	Crosta de FeMn
	RGR1_D06_012	
	RGR1_D06_013	Basalto
	RGR1_D06_015	
	RGR1_D06_016	
	RGR1_D06_017	
RGR1_D06_018	Crosta de FeMn	
D07	RGR1_D07_001	Crosta de FeMn
	RGR1_D07_002	
	RGR1_D07_003	
	RGR1_D07_004	
	RGR1_D07_005	
	RGR1_D07_006	
	RGR1_D07_007	
	RGR1_D07_008	
	RGR1_D07_009	
	RGR1_D07_010	
	RGR1_D07_011	
	RGR1_D07_012	
	RGR1_D07_014	
	RGR1_D07_015	
	RGR1_D07_016	
	RGR1_D07_018	
	RGR1_D07_019	
	RGR1_D07_020	
	RGR1_D07_021	
	RGR1_D07_022	

Dragas RGR-1	Amostras	Litologia
D08	RGR1_D08_001	Basalto
	RGR1_D08_002	
	RGR1_D08_003	
	RGR1_D08_004	
D10	RGR1_D10_002	Crosta de FeMn
	RGR1_D10_003	
	RGR1_D10_007	
	RGR1_D10_008	
	RGR1_D10_009	
	RGR1_D10_013	
D11	RGR1_D11_003	Crosta de FeMn
	RGR1_D11_004	Crosta de FeMn + fosforita
	RGR1_D11_006	Crosta de FeMn
	RGR1_D11_008	
	RGR1_D11_010	Crosta de FeMn + fosforita
	RGR1_D11_012	Crosta de FeMn
	RGR1_D11_013	
	RGR1_D11_014	
	RGR1_D11_016	
	RGR1_D11_018	
RGR1_D11_018		
D12	RGR1_D12_001	Basalto
	RGR1_D12_002	Fosforita
	RGR1_D12_004	Fosforita
D13	RGR1_D13_001	Basalto
	RGR1_D13_002	
	RGR1_D13_003	
	RGR1_D13_004	
	RGR1_D13_005	
	RGR1_D13_009	
D15	RGR1_D15_001	Basalto
	RGR1_D15_004	
	RGR1_D15_005	
	RGR1_D15_006	
	RGR1_D15_007	
	RGR1_D15_008	
	RGR1_D15_011	
	RGR1_D15_012	
	RGR1_D15_015	
	RGR1_D15_016	
	RGR1_D15_017	
	RGR1_D15_019	Basalto
D16	RGR1_D16_001	Basalto
	RGR1_D16_002	
	RGR1_D16_003	
	RGR1_D16_004	
	RGR1_D16_008	Crosta de FeMn + fosforita
D17	RGR1_D17_001	Basalto
	RGR1_D17_002	
	RGR1_D17_003	
	RGR1_D17_004	
	RGR1_D17_005	
	RGR1_D17_006	
	RGR1_D17_007	
	RGR1_D17_009	
	RGR1_D17_010	
	RGR1_D17_011	
	RGR1_D17_014	
	RGR1_D17_016	Crosta de FeMn
	RGR1_D17_017	
	RGR1_D17_018	
RGR1_D17_019		

Dragas DY094	Amostras	Litologia	
10	DY094_010_G001	Rocha vulcânica	
	DY094_010_G002		
	DY094_010_G003		
	DY094_010_G004		
	DY094_010_G005		
	DY094_010_G006		
	DY094_010_G007		
	DY094_010_G008		
	DY094_010_G009		
	DY094_010_G010		
	DY094_010_G011		Fosforita
	DY094_010_G012		Rocha vulcânica
	DY094_010_G014		Crosta de Fosforita
	DY094_010_G016		Crosta de Fosforita
	DY094_010_G017	Rocha vulcânica	
	DY094_010_G018	Crosta de Fosforita	
	DY094_010_G020	Rocha vulcânica	
DY094_010_G022	Basalto		
DY094_010_M001	Rocha vulcânica		
17	DY094_017_G001	Rocha vulcânica	
	DY094_017_G002		
	DY094_017_G003		
	DY094_017_G004		
	DY094_017_G005		
	DY094_017_G006		
	DY094_017_G008		
	DY094_017_G010		
	DY094_017_G011		
	DY094_017_G012		
	DY094_017_G013		
	DY094_017_G014		
	DY094_017_G015		
	DY094_017_G016		
	DY094_017_G017		
	DY094_017_G018		
	DY094_017_G019		
	DY094_017_G020		
	DY094_017_G021		
	DY094_017_G022		
DY094_017_G024			
DY094_017_G025			
DY094_017_G029			
DY094_017_G030			
22	DY094_022_G001	Crosta de Fosforita	
	DY094_022_G002		
	DY094_022_G003		
	DY094_022_G004		
	DY094_022_G005		
	DY094_022_G006		
	DY094_022_G007		
	DY094_022_G008		
	DY094_022_G009		
	DY094_022_G010		
	DY094_022_G011		
	DY094_022_G012		
	DY094_022_G013		
	DY094_022_G014		
	DY094_022_G015	Crosta	
	DY094_022_G016		
	DY094_022_G017		
	DY094_022_G018		
	DY094_022_G019	Crosta	
	DY094_022_G020		
DY094_022_G022	Crosta		
DY094_022_G023			
DY094_022_G026	Crosta		
DY094_022_G027			
DY094_022_G028	Rocha vulcânica		

Dragas DY094	Amostras	Litologia	
23	DY094_023_G001	Crosta de Fosforita	
	DY094_023_G003		
	DY094_023_G004		
	DY094_023_G005		
	DY094_023_G006		
	DY094_023_G008		
	DY094_023_G009		
	DY094_023_G011		
	DY094_023_G012		
	DY094_023_G013		
	DY094_023_G014		Rocha vulcânica
	DY094_023_G016		Crosta de Fosforita
	DY094_023_G017		
DY094_023_G018			
34	DY094_023_G025	Crosta de Fosforita e FeMn	
	DY094_034_G001		
	DY094_034_G002		
	DY094_034_G004		
	DY094_034_G005		
	DY094_034_G006		
	DY094_034_G007		
	DY094_034_G008		
	DY094_034_G012		
	DY094_034_G013		
DY094_034_G020			
35	DY094_035_G001	Rocha vulcânica	
	DY094_035_G002		
	DY094_035_G003		
41	DY094_041_G001	Crosta de Fosforita	
	DY094_041_G002		
	DY094_041_G003		
	DY094_041_G005		
	DY094_041_G007		
	DY094_041_G008		
	DY094_041_G010	Fosforita	
46	DY094_046_G001	Crosta de Fosforita	
	DY094_046_G002		
	DY094_046_G003		
	DY094_046_G004		
	DY094_046_G005		
	DY094_046_G006		
	DY094_046_G007		
	DY094_046_G008		
	DY094_046_G009		
	DY094_046_G010		
	DY094_046_G011		
	DY094_046_G012		
	DY094_046_G014		
	DY094_046_G015		
	DY094_046_G016		
	DY094_046_G017		
	DY094_046_G019		
DY094_046_G020			
DY094_046_G021			
47	DY094_047_G001	Rocha vulcânica	
	DY094_047_G002		
	DY094_047_G003		
	DY094_047_G004		
	DY094_047_G005		
	DY094_047_G006		
	DY094_047_G007		
	DY094_047_G008		
	DY094_047_G009		
	DY094_047_G010		
	DY094_047_G011		
	DY094_047_G012		
	DY094_047_G013		
	DY094_047_G014		
	DY094_047_G015		

Dragas DY094	Amostras	Litologia
52	DY094_052_G001	Crosta de Fosforita
53	DY094_053_G001	Crosta de Fosforita
	DY094_053_G002	Nódulo de Fosforita
	DY094_053_G003	Crosta de Fosforita
	DY094_053_G004	
	DY094_053_G005	
	DY094_053_G006	
	DY094_053_G007	
	DY094_053_G011	Rocha ígnea
DY094_053_G017		
56	DY094_056_G001	Crosta de Fosforita e FeMn
	DY094_056_G003	
	DY094_056_G004	
	DY094_056_G006	
	DY094_056_G008	
	DY094_056_G013	
	DY094_056_G018	
DY094_056_G019		
57	DY094_057_G001	Crosta de Fosforita
62	DY094_062_G004	Crosta
63	DY094_063_G001	Rocha vulcânica
	DY094_063_G002	
	DY094_063_G003	
	DY094_063_G006	Rocha ígnea
	DY094_063_G007	Rocha vulcânica
	DY094_063_G008	
	DY094_063_G009	
	DY094_063_G010	
	DY094_063_G011	
	DY094_063_G012	
	DY094_063_G013	
	DY094_063_G014	
	DY094_063_G015	
	DY094_063_G016	
	DY094_063_G017	
	DY094_063_G019	
	DY094_063_G020	
	DY094_063_G021	
	DY094_063_G022	
	DY094_063_G024	
	DY094_063_G025	
	DY094_063_G026	
	DY094_063_G027	Crosta de Fosforita
	DY094_063_G028	Rocha vulcânica
	DY094_063_G029	
	DY094_063_G033	Crosta vulcânica
	DY094_063_G035	Crosta vulcânica
DY094_063_G037	Rocha vulcânica	